



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

Escola Superior d'Enginyeries Industrial,  
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

Titulació:

**Grau en Enginyeria Electrònica Industrial i Automàtica**

Alumne (nom i cognoms):

**José Carlos Calderón Yarlequé**

Enunciat TFG / TFM:

**Estudi de viabilitat d'una maqueta docent**

Director/a del TFG / TFM:

**Manuel Lamich Arocas**

Codirector/a del TFG / TFM:

**Victor Suñé Socias**

Convocatòria de lliurament del TFG / TFM:

**Juny 2019**

# ETSEIAAT

## Projecte de Fi de Grau



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

Escola Superior d'Enginyeries Industrial,  
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa

---

Estudi de viabilitat d'una maqueta docent

---

### Memòria treball de fi de grau

**Grau:** Grau en enginyeria electrònica industrial i automàtica

**Data de lliurament:** 10-06-2019

**Alumne:** José Carlos Calderón Yarlequé

**Director:** Manuel Lamich Arocas

**Co-Director:** Victor Suñé Socias

## **Resum**

Aquest projecte és un estudi de viabilitat d'una maqueta docent. La maqueta estarà constituïda per una base, un suport vertical fixat a la base i un braç que girarà al voltant d'un eix fixat al suport. El gir del braç s'aconseguirà mitjançant un motor elèctric que té una hèlix que proporcionarà l'empenta necessària. L'angle de gir haurà de poder variar entre 0 graus (braç vertical) i 180 graus. La velocitat de rotació del motor i per tant, l'angle d'inclinació del braç, es governarà amb un microcontrolador. La maqueta comptarà amb un o més sensors d'inclinació del braç.

La documentació adjunta aquest projecte es:

- Memòria de projecte.
- Annexos.
- Plànols estructurals.
- Plec de condicions.

La memòria de projecte conté tota la informació relativa a la maqueta docent, aquest document es divideix en quatre blocs principals:

El primer bloc es una explicació del primer prototip de la maqueta docent.

En aquest bloc es tracten els següents punts:

- Estudi de materials.
- Accionament i sensat de posició.
- Font d'alimentació.
- Resum de característiques.

El segon bloc és una explicació del segon prototip de la maqueta docent.

En aquest bloc es tracten els següents punts:

- Estudi de materials.
- Resolució d'inconvenients.
- Resum de característiques.

El tercer bloc és una explicació de la versió final de la maqueta docent.

En aquest bloc es tracten els següents punts:

- Estudi de materials.
- Resolució d'inconvenients.
- Resum de característiques.

El quart bloc és una explicació del software que acompanya la maqueta.

En aquest bloc es tracta el punt següent:

- Explicació de la biblioteca que integra tots els mètodes.

Els annexos tenen la següent informació:

- Explicació de la inicialització del ESC.
- Plànols de cada part de la versió final de la maqueta docent.
- Codi del software que acompanya la maqueta docent.
- Pressupost detallat de la versió final de la maqueta docent.

El plec de condicions conté la següent informació:

- Explicació detallada de la fabricació de les parts estructurals de la maqueta docent.
- Informació de l'accionament i sensat de la maqueta docent.

Els plànols estructurals conté la següent informació:

Plànols de totes les peces de l'estructura de la maqueta docent.

## **Abstract**

This project is a survey of feasibility of an educational model. The model will be constituted by a base, a vertical support fixed at the base and an arm that will turn around an axis fixed at the support. The twist of the arm will achieve by means of an electrical engine that has a helix that will provide the necessary push. The angle of twist will have to can vary among 0 grades (vertical arm) and 180 grades. The speed of rotation of the engine and therefore, the angle of inclination of the arm, will govern with a microcontroller. The model will have one or more sensors of inclination of the arm.

The documentation attaches this project:

- Memory of project.
- Annexes.
- Structural layouts.
- Fold of conditions.

The memory of project contains all the relative information at the educational model, this document divides at four principal blocs:

The first bloc an explanation of the first prototype of the educational model.

At this bloc treat the following points:

- Survey of materials.
- Drive and wise of position.
- Font of supply.
- Digest of characteristics.

The second bloc is an explanation of the second prototype of the educational model.

At this bloc treat the following points:

- Survey of materials.
- Resolution of problems.
- Digest of characteristics.

The third bloc is an explanation of the final version of the educational model.

At this bloc treat the following points:

- Survey of materials.
- Resolution of problems.
- Digest of characteristics.

The fourth bloc is an explanation of the software that accompanies the model.

At this bloc treats the following point:

- Explanation of the library that integrates continuums the methods.

The annexes have the following information:

- Explanation of the initialization of the ESC.
- Layouts of each part of the final version of the educational model.
- Code of the software that accompanies the educational model.
- Estimate detailed of the final version of the educational model.

The fold of conditions contains the following information:

- Explanation detailed of the fabrication of the structural parts of the educational model.
- Information of the drive and wise of the educational model.

The structural layouts contains the following information:

- Layouts of all the pieces of the structure of the educational model

## **Agraïments**

Agrair a Aitor Martin Cano i Cristhian Jiménez Avilés, per la col·laboració amb la edició i correcció de la memòria final del projecte.

Agrair a Joan Fluvià Marin i Sergio Cuadros Ibargüen per l'assistència a la resolució de dubtes amb referència a la programació del software.

## Índex

1. Introducció	1
1.1. Objecte	1
1.2. Abast	1
1.3. Justificació	2
1.4. Especificacions	2
2. Precedents	3
3. Disseny del hardware de la maqueta	5
3.1 Primer prototip	5
3.1.1 Estudi de fustes	5
3.1.1.1 Fusta aglomerada	5
3.1.1.2 Fusta contraxapada	7
3.1.1.3 Fusta de fibres	9
3.1.1.3.1 Fusta MDF	9
3.1.1.4 Fusta OSB	11
3.1.1.5 Fusta Massissa	13
3.1.1.6 Selecció de la fusta	15
3.1.2 Accionament i sensat de posició	17
3.1.2.1 Motor	17
3.1.2.2 Hèlix	19
3.1.2.3 ESC	21
3.1.2.3.1 Connexionat d'Arduino UNO i ESC	22
3.1.2.4 Potenciòmetre	23
3.1.2.4.1 Connexionat d'Arduino UNO i potenciòmetre	25
3.1.2.5 Estudi i disseny/selecció del sistema d'alimentació elèctrica	26
3.1.2.6 Resum de característiques	28
3.1.2.6.1 Avaluació	30
3.2 Segon prototip	31
3.2.1 Estudi de plàstics	31
3.2.1.1 Metacrilat	32
3.2.1.2 PVC	33
3.2.1.3 Policarbonat	34
3.2.1.4 PETG plaques	36
3.2.1.5 Polipropilè	37



3.2.1.6	Selecció dels plàstics	38
3.2.2	Dimensions	40
3.2.3	Altres inconvenients	41
3.2.4	Connector banana	42
3.2.5	Resum de característiques	43
3.2.5.1	Avaluació	44
3.3	Versió final	45
3.3.1	Material de la versió final.	46
3.3.2	Dimensions	46
3.3.3	Altres inconvenients	47
3.3.4	Born de connexió	48
3.3.5	Inconvenient del potenciòmetre.	49
3.3.5.1	Sensor	49
3.3.5.1.1	Connexionat d'Arduino a IMU (MPU-6050)	51
3.3.6	Arduino Proto Extension Kit	52
3.3.7	Resum de característiques	53
3.3.8	Configuració versió final	55
4.	Disseny del software	56
4.1	Entorn de programació	56
4.2	Creació del software	57
4.2.1	Void Maketa::init ()	58
4.2.2	Void Maketa::attach (uint8_t p)	58
4.2.3	Void Maketa::write (uint8_t s)	58
4.2.4	Inline uint8_t Maketa::attached (void)	58
4.2.5	Inline uint8_t Maketa::written (void)	58
4.2.6	Void Maketa::gyroscope (float & gyX,float & gyY,float & gyZ)	58
4.2.7	Void Maketa::accelerometer (float & acX,float & acY,float & acZ)	58
4.2.8	Uint8_t accelerometerGyroscope (void);	59
4.2.9	Exemple d'aplicació	59
5.	Aspectes ambientals i de seguretat.	64
5.1	Etapa de mecanització de la maqueta docent.	64
5.2	Etapa d'ús de la maqueta docent	64
5.3	Etapa de desmantellament de la maqueta docent	64
6.	Conclusions	65
6.1	Conclusions finals	65

6.2	Conclusions d'aprenentatge	67
6.3	Recomanacions futures	68
6.3.1	Tasques recomanades	68
7.	Referències bibliogràfiques	69

## Índex de figures

Figura 1. Precedent Maqueta docent vista esquerra	3
Figura 2. Precedent Maqueta docent vista dreta	3
Figura 3. Precedent Maqueta docent frontal	3
Figura 4. Taulells de fusta aglomerada	5
Figura 5. Taulells de fusta contraxapada	7
Figura 6. Taulells de fusta MDF	9
Figura 7. Taulells de fusta OSB	11
Figura 8. Taulells de fusta massissa	13
Figura 9. Mètode de les mitjanes ponderades	16
Figura 10. Motor EMAX MT1806 1430 kv. CCW	18
Figura 11. Dimensions motor EMAX MT1806 1430 kv. CCW	18
Figura 12. Hèlixs HQ props tripala de 4x4,3	19
Figura 13. ESC EMAX BLHeli Series	21
Figura 14. Connexionat Arduino UNO i ESC	22
Figura 15. Potenciòmetre WDD35-D4	23
Figura 16. Connexionat potenciòmetre i Arduino UNO	25
Figura 17. Frontal font d'alimentació Promax FAC-662B	26
Figura 18. Planta font d'alimentació Promax FAC-662B	26
Figura 19. Primer prototip lateral esquerra	28
Figura 20. Primer prototip lateral dret	28
Figura 21. Primer prototip frontal	28
Figura 22. Làmines de metacrilat	32
Figura 23. Làmines de PVC	33
Figura 24. Làmines de policarbonat compacte transparent	34
Figura 25. Plaques de PETG transparent	36
Figura 26. Làmines de polipropilè	37
Figura 27. Mètode de les mitjanes ponderades	39
Figura 28. Connectors banana mascle i femella	42
Figura 29. Segon prototip frontal	43
Figura 30. Segon prototip posterior	43
Figura 31. Segon prototip lateral dret	43
Figura 32. Segon prototip lateral esquerre	43
Figura 33. Borns de connexió tipus banana femella	48
Figura 34. IMU (MPU-6050)	50
Figura 35. Connexionat d'Arduino UNO i IMU (MPU-6050)	51
Figura 36. Arduino proto extension kit	52
Figura 37. Versió final maqueta docent frontal	53
Figura 38. Versió final maqueta docent lateral dret	53
Figura 39. Versió final maqueta docent posterior	53
Figura 40. Versió final maqueta docent lateral esquerra	53
Figura 41. Connexionat Arduino UNO i components	55
Figura 42. IDE de Arduino	56

Figura 43. Configuració dels eixos de la IMU (MPU-6050)	57
Figura 44. Diagrama de blocs del PID	60
Figura 45. Diagrama de blocs del funcionament del PID	60

## Índex de taules

Taula 1. Característiques crítiques dels tipus de fustes	15
Taula 2. Característiques motor EMAX MT1806 1430 kv. CCW	17
Taula 3. Característiques hèlix HQ props tripala de 4x4.3	20
Taula 4. Característiques de l'ESC EMAX BLHeli Series	21
Taula 5. Característiques potenciòmetre WDD35-D4	24
Taula 6. Característiques promax power supply FAC-662B	26
Taula 7. Dimensions i materials del primer prototip	28
Taula 8. Característiques crítiques dels tipus de plàstics	38
Taula 9. Dimensions revisades del segon prototip	40
Taula 10. Característiques connectors banana	42
Taula 11. Dimensions i materials del segon prototip	43
Taula 12. Dimensions del segon prototip	46
Taula 13. Característiques dels borns de connexió	48
Taula 14. Dimensions de l'eix	49
Taula 15. Característiques del sensor	50
Taula 16. Característiques Arduino proto extension kit	52
Taula 17. Característiques versió final maqueta docent	54
Taula 18. Dimensions i materials versió final maqueta docent	54
Taula 19. Codi de l'aplicació d'exemple	63
Taula 20. Temps estimat per a la realització de les tasques futures	68

## **Llistat d'abreviatures**

MDF: Medium Density Fireboard (Tauler de Densitat Mitjana)

PWM: Pulse-Width Modulation (Modulació per Ample de Pols)

ESC: Electronic Speed Controller (Controlador Electric de Velocitat)

IDE: Integrated Development Environment (Entorn Integrat de Desenvolupament)

PID: Proporcional-Integral-Derivatiu

CCW: CounterClockWise (Sentit antihorari)

# 1. Introducció

## 1.1. Objecte

El projecte consisteix en estudiar la viabilitat de una maqueta docent. La maqueta estarà constituïda per una base, un suport vertical fixat a la base i un braç que girarà al voltant d'un eix fixat al suport. El gir del braç s'aconseguirà mitjançant una hèlix accionada mitjançant un motor elèctric. L'angle de gir haurà de poder variar entre 0 graus (braç vertical) i 100 graus (topall). La velocitat de rotació del motor i, per tant, l'angle d'inclinació del braç, es governarà amb un microcontrolador. La maqueta comptarà amb un sensor que proporcionarà la inclinació del braç.

## 1.2. Abast

- Definir les característiques de la maqueta docent: dimensions, material, disseny.
- Definir l'electrònica i la instrumentació per la maqueta docent: microcontrolador, sensor, motor i els seus components adjunts.
- Elaborar la maqueta docent d'acord amb el disseny, components i materials seleccionats.
- Aprendre i millorar el coneixement del llenguatge utilitzat en la programació, aplicada al microcontrolador de la maqueta docent.
- Elaborar les diferents biblioteques i funcions que permetin controlar la posició angular, la velocitat i la arrancada en la maqueta docent.
- Realitzar les proves i assajos necessaris per tal de millorar el funcionament de la maqueta docent, i solucionar els possibles errors.
- Estudiar i seleccionar el sistema d'alimentació elèctrica de la maqueta docent.

### 1.3. Justificació

Els motius per escollir aquest projecte son:

- Incrementar els coneixements de programació amb Arduino.
- Posar en pràctica els coneixements adquirits en un curs de Drons.
- Poder treballar en el disseny d'estructures.
- Era necessari reemplaçar unes maquetes existents als laboratoris de l'ESEIAAT per unes millorades.

### 1.4. Especificacions

- La maqueta estarà constituïda per una base, un suport vertical fixat a la base i un braç que girarà al voltant d'un eix fixat al suport.
- El gir del braç s'aconseguirà mitjançant una hèlix accionada mitjançant un motor trifàsic.
- L'angle de gir haurà de poder variar entre 0 graus (braç vertical) i 130 graus.
- Les dimensions de la maqueta hauran de ser adequades per poder utilitzar-la a un laboratori docent.
- La maqueta es presentarà en forma de «kit» constituït per un seguit de peces que puguin manufacturar-se i assemblar-se fàcilment.
- La maqueta comptarà amb un sensor que proporcionarà la inclinació del braç.
- La velocitat de rotació del motor i, per tant, l'angle d'inclinació del braç, es governarà amb un microcontrolador Arduino UNO.
- Es crearà una biblioteca de programes per Arduino UNO que facilitin l'ús docent de la maqueta.
- La maqueta docent s'haurà de poder alimentar amb una de les fonts disponibles als laboratoris de l'ESEIAAT.
- El pressupost per l'elaboració de la maqueta final ha de ser igual o inferior a 80 €.

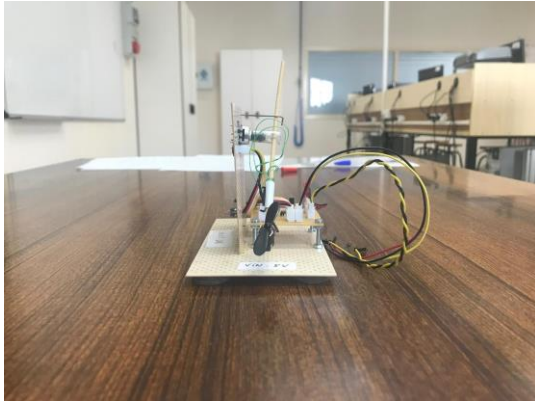


## 2. Precedents

Els precedents d'aquest projecte és una maqueta que actualment es fa servir als laboratoris de l'ESEIAAT.

Aquesta maqueta s'utilitza en els laboratoris de vehicles espacials, de tecnologies aeroespacials i d'enginyeria industrial.

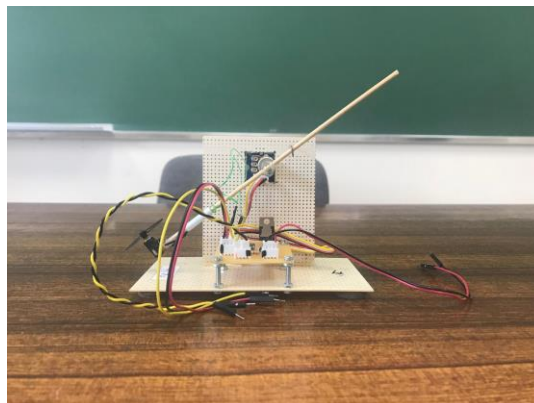
En les figures 1, 2 i 3 es pot veure quin aspecte té aquesta maqueta:



*Figura 1. Precedent Maqueta docent vista esquerra*



*Figura 2. Precedent Maqueta docent vista dreta*



*Figura 3. Precedent Maqueta docent frontal*

Els aspectes a millorar són el següents:

- Les seves dimensions són insuficients per treballar còmodament.
- La seva estructura no és prou robusta.
- Els cables no estan correctament subjectats a la estructura.
- El seu transport i emmagatzematge no sembla ser gaire fàcil.
- Es difícil reparar o substituir un component.

Després de plantejar els inconvenients, aquestes serien les possibles solucions:

- Augmentar la seva dimensió per poder trobar un equilibri en el que sigui còmode per l'estudiant fer-la servir i no hi hagi espai inutilitzat o material extra, sense una funció.
- Redissenyar la seva estructura a fi de fer-la més robusta i poder assegurar que les peces seran intercanviables entre elles, en cas de espatllar-se o volen aplicar alguna modificació futura.
- Fer servir part de la estructura per subjectar bé els cables o fer servir alguna eina o productes prefabricats per subjectar-los correctament.
- Fer totes les seves peces a partir d'una matèria prima fàcilment mecanitzable i poder aconseguir que sigui completament desmuntable.

## 3. Disseny del hardware de la maqueta

### 3.1 Primer prototip

Al començar a plantejar el material per al primer prototip, es va decidir provar primer amb la fusta perquè és un material econòmic i fàcil de treballar.

#### 3.1.1 Estudi de fustes

##### 3.1.1.1 *Fusta aglomerada*

L'aglomerat de fusta és un material format en taulers com es pot veure en la figura 4, està compost per partícules de fusta de diferents grandàries, unides entre si per algun tipus de resina, cola o un altre material i posteriorment premsada a temperatura i pressió controlada formant el tauler.

L'origen de les partícules de fusta i dels materials d'unió varia, fet que per aquest motiu sigui més o menys ecològic, encara que no ho és completament, degut al procés de fabricació en el qual es generen alguns residus contaminants per al medi ambient.



*Figura 4. Taulers de fusta aglomerada*

Font: [1]

La seva textura és irregular i porosa, de manera que regularment els taulers no es compren "nus" sinó que se'ls aplica fines làmines de xapa de fusta o laminat plàstic enganxades sobre la seva superfície per donar-los un bon acabat i que no es vegin els encenalls de fusta.[2]

#### Avantatges:

- Generalment tenen un cost econòmic, encara que els preus poden variar en funció del procés de fabricació o acabats.
- Conte una gran varietat de dissenys i textures, donat que s'utilitza una melamina per cobrir el taulell.
- Els nous processos industrials han millorat considerablement la resistència tant de l'aglomerat com de la melamina.
- És senzill trobar taulells aglomerats als que s'han aplicat productes antibacterians.
- Gran varietat d'usos, la facilitat per transportar i mecanitzar fan d'aquests taulells laminats una superfície de treball molt adaptable i modificable.[2]

#### Inconvenients:

- La melamina perd color, els productes de neteja i fins i tot el sol afecten a la llarga a la capa de melamina que amb el temps anirà perdent la seva tonalitat inicial. Si l'ús i la cura és l'adequat no és una cosa que hagi de passar a curt termini.
- Humitat, si bé la capa exterior és completament impermeable a un taulell aglomerat, el seu nucli es pot veure afectat. Si això succeeix el taulell s'inflarà i es deformarà. Això únicament passarà si el taulell es defectuós (mal segellat, rebí cops, esgarrapades molt fortes...etc.).
- En quant a la seva vida útil, encara que la cura hagi estat perfecta la vida útil d'aquest producte sempre serà menor que la d'un altre tipus de fusta.
- Molt sensible a les altes temperatures.[2]

### 3.1.1.2 Fusta contraxapada

De tots els materials derivats de la fusta, el contraxapat és sens dubte el més conegut. La fabricació de fusta contraxapada consisteix a "fullejar" els troncs dels arbres per mitjà de grans màquines, a fi d'obtenir fines planxes de fusta anomenades làmines com les que es poden veure a la figura 5. [3]



*Figura 5. Taulells de fusta contraxapada*

Font: [4]

Aquestes làmines es peguen unes sobre les altres perquè les fibres d'una siguin perpendiculars a les fibres de l'altra. D'aquesta manera s'obté un gran material, perfectament pla i rigorosament calibrat.

Les capes de fusta s'adhereixen juntes en nombres imparells. La capa circumdant forma el nucli del contraxapat, els processos d'enganxat actuals i el descobriment de noves cues permeten una associació ideal de fustes. Les fustes més utilitzades per a la producció de contraxapats són: faig, pollancre, noguera, freixe, bedoll, caoba, pi, entre altres espècies. [3]

Avantatges:

- Té molt bona resistència i durabilitat.
- Està disponible en diferents rangs de gruixos de 6 mm a 25mm.
- Fusta contraxapada feta de diferents espècies de fusta.
- És menys susceptible al dany per aigua que les fustes de fibres.
- Pot ser fàcilment polit.
- Pot subjectar bé els cargols.
- És resistent a la contracció, deformació, torsió i esquerdament.
- Està disponible en grans dimensions.
- És econòmic en comparació amb la fusta massissa. [3]

Inconvenients:

- És més car que els panells de fusta fibra de densitat mitjana (MDF).
- Sovint es estella a les vores.
- És molt difícil tallar
- Se sap que emet COV tòxics (compostos orgànics volàtils).
- L'aigua pot malbaratar el contraxapat.
- Es difícil d'esbrinar de quina fusta està feta un taulell de contraxapat.
- La major part del contraxapat de qualitat comercial s'ha de cobrir, per millorar el seu acabat i augmentar la seva vida útil ja que és propens a ser afectat per tèrmits. [3]

### 3.1.1.3 Fusta de fibres

#### 3.1.1.3.1 Fusta MDF

Aquest tipus de tauler, com els que es poden veure a la figura 6, està fabricat a partir de fibres de fustes (aproximadament un 85%) i resines sintètiques comprimides, el que li aporta una major densitat. Comunament se l'anomena fusta però això no és exacte, ja que no estem parlant de fusta, sinó d'un producte derivat d'ella

Durant el procés de fabricació es poden afegir determinats productes químics per tal d'afegir característiques addicionals a la fusta de densitat mitjana, com repel·lir l'aigua o evitar l'aparició de fongs o floridura.

Presenta un color uniforme i a diferència de la fusta no té beta, el que en part facilita el treball amb aquest tipus de taulers.



*Figura 6. Taulers de fusta MDF*

Font: [5]

Una de les principals característiques de la fusta MDF és la pressió o densitat, aquesta ens diria el pes per metre quadrat. Quan parlem de densitat mitjana aquesta es situa entre 500 i 800 kg / m<sup>3</sup>, per sobre d'aquesta parlem d'alta densitat i per sota de baixa densitat. Des d'un punt de vista estricte la densitat ens dirà que és MDF i que no ho és. [5]

#### Avantatges:

- A diferència de l'aglomerat la superfície dels taulers de fibres és realment llisa, fins i tot es podria dir que suau, el que el converteix en un material ideal per a l'aplicació de pintures, laques i vernissos.
- Té un molt bon comportament en l'ús d'adhesius i coles.
- A diferència d'altres tipus de taulers no és propici a partir-se en una determinada orientació.
- És flexible.
- Facilitat de mecanització i molt bon resultat. [5] [6]

#### Inconvenients:

- Per a un mateix nivell de resistència que un aglomerat és necessari un major pes.
- Per treballar amb cargols cal avellanar o utilitzar cargols específics ja que tendeix a trencar en els cantons a prémer.
- Cal treballar en llocs ventilats o equipats per a això atès que es fa servir formaldehid durant la fabricació que s'allibera en tallar o mecanitzar. [5] [6]



#### 3.1.1.4 Fusta OSB

Els taulers OSB o de fibres orientades, com el de la figura 7, són taulers formats per successives capes d'encenalls de diversos centímetres, on cada capa és premada amb els encenalls orientats en la mateixa direcció, i es van unint les capes, igual que amb els taulers contraxapats, de forma perpendicular per aconseguir una major estabilitat i resistència, el que els converteix en molts àmbits en una alternativa a la fusta massissa.



*Figura 7. Taulers de fusta OSB*

Font: [7]

Encara que aquest tipus de fusta no es tan coneguda, pel que fa a les mesures de comercialització, en format tauler, s'ajusta als estàndards de la indústria, per tant, no suposaria cap problema la seva obtenció. [8]

Avantatges:

- Un preu comparativament més baix.
- Una gran resistència a la ruptura i torsió.
- No presenten nusos, el que facilita la mecanització i els talls posteriors.
- La seva fabricació té un menor impacte mediambiental. No cal utilitzar espècies específiques per fabricar taulers OSB; poden utilitzar arbres de creixement ràpid o fins i tot petits.
- El seu reciclatge és molt senzill.
- Es tracta d'una alternativa completament industrial, no hi ha limitacions en grandària. Es poden fabricar taulers de dimensions majors als que podem aconseguir amb una fusta massissa. [8]

Inconvenients:

- Davant condicions adverses d'humitat i sense el corresponent tractament, es deformen en major mesura que un contraxapat.
- És una mica més pesat i lleugerament menys rígid. Encara que d'altra banda la resistència és pràcticament la mateixa en tots els punts.
- Compta amb una escassa gama d'acabats, ja que no es sol tracta la seva superfície al contrari d'altres tipus de fustes. [8]

### 3.1.1.5 *Fusta Massissa*

Dins de les fustes massisses troben les fustes dures i toves, les fustes dures procedeixen d'arbres de creixement lent i resulten més cares que les toves, encara que solen ser més boniques en la seva veta.

Hi ha molts tipus de fusta i depenent de la que escullis veuràs la bellesa i la força del moble acabat.

La característica principal de la fusta massissa és que són taules o taulers com els de la figura 8, fets de la fusta de l'arbre, de forma directa. [9]



*Figura 8. Taulells de fusta massissa*

Font: [10]

Avantatges:

- La Fusta massissa conserva tota la bellesa de la fusta; les seves fibres, nusos, tons,.. etc. Estèticament és inigualable.
- Per a la restauració de determinats edificis històrics pot ser obligat l'ús de fusta massissa.
- Per a qualsevol classe d'ús la fusta massissa es pot tractar per cobrir les necessitats en qualsevol circumstància.
- La fusta massissa pot ser més barata que la fusta laminada, sobretot quan no es requereix certificació.
- La fusta massissa suposa menys petjada de carboni perquè està menys processada i no s'utilitzen productes addicionals. [9]

Inconvenients:

- Hi ha la possibilitat d'aparició de clivelles o esquerdes en la fusta, augmenta aquest risc com més gran és la secció i en casos de canvis d'humitat. Amb la fusta laminada poden aparèixer clivelles però el risc és molt menor.
- És més complicat trobar fabricants que treballen la fusta massissa estructural ja que es requereix una gran experiència.
- Els terminis de lliurament de la fusta solen ser superiors i no es treballa qualsevol dimensió, de vegades cal acceptar les mesures que aporten els fabricants.
- Sol tenir un preu més elevat que altres tipus de fustes degut a la seva alta qualitat estètica. [9]

### 3.1.1.6 Selecció de la fusta

Per l'anàlisi de fustes, veurem a la taula 1 les característiques més crítiques per l'elaboració de l'estructura. Encara que la toxicitat no és un factor clau alhora de referir-nos a la estructura de la maqueta docent, sí que pot ser determinant en la seva mecanització, donat que és un factor que determina la forma de treballar el material i per tant, la quantitat de proveïdors disponibles:

	<b>Preu</b>	<b>Resistència i durabilitat</b>	<b>Toxicitat</b>
<b>Fusta aglomerada</b>	És el tipus de fusta més barat.	Vida útil curta. Poca resistència i durabilitat.	No
<b>Fusta contraxapada</b>	És econòmic en comparació amb la fusta massissa. És més car que els panells de fibra de densitat mitjana (MDF).	Bona resistència i durabilitat en comparació amb els panells de fibra de densitat mitjana.	Es sap que emet COV tòxics (compostos orgànics volàtils).
<b>Fusta HDF</b>	Més cara que la fusta aglomerada.	Millor resistència al doblegar i a la tensió transversal.	No
<b>Fusta MDF</b>	Pot ser entre un 10%-20% més car que la fusta aglomerada.	Per un mateix nivell de resistència que una fusta aglomerada és necessari un pes major.	No
<b>Fusta OSB</b>	Un preu comparativament més baix.	Gran resistència a la ruptura i torsió.	No
<b>Fusta Massissa</b>	És més cara. Tot i que pot ser més barata que la laminada.	Per la restauració de determinats edificis històrics pot ser obligat l'ús de la fusta massissa.	No

*Taula 1. Característiques crítiques dels tipus de fustes*

Font: [11]

Per determinar la millor opció, s'utilitzarà el mètode de les mitges ponderades que es pot veure a la figura 9:

Mètode de les mitjanes ponderades						
Criteris:	PES	PROPOSTA 0 Contraxapada	PROPOSTA 1 Aglomerada	PROPOSTA 2 De fibres	PROPOSTA 3 OSB	PROPOSTA 4 Macissa
ECONOMICS		puntuació	puntuació	puntuació	puntuació	puntuació
Cost materia prima	13%	8	6	8	6	6
Cost mecanització	17%	7	7	7	7	7
<b>Total ponderació</b>	<b>30,00%</b>	<b>2,23</b>	<b>1,97</b>	<b>2,23</b>	<b>1,97</b>	<b>1,97</b>
MEDI AMBIENTALS						
Contaminació en la fabricació	11%	7	7	8	6	4
Capacitat de reutilització/reciclatge	7%	7	7	8	8	6
Consum d'energia en la fabricació	4%	6	5	6	7	5
<b>Total ponderació</b>	<b>22,00%</b>	<b>1,50</b>	<b>1,46</b>	<b>1,68</b>	<b>1,50</b>	<b>1,06</b>
FUNCIONALS						
Facilitat en la mecanització	13%	7	6	8	5	6
Resistència i durabilitat	14%	7	5	7	7	8
Pes	11%	8	7	7	6	5
<b>Total ponderació</b>	<b>38,00%</b>	<b>2,77</b>	<b>2,25</b>	<b>2,79</b>	<b>2,29</b>	<b>2,45</b>
ASPECTES ESTETICS						
Gama de acabats	10%	7	6	6	4	5
<b>Total ponderació</b>	<b>10,00%</b>	<b>0,70</b>	<b>0,60</b>	<b>0,60</b>	<b>0,40</b>	<b>0,50</b>
<b>PUNTUACIÓ PONDERADA</b>	<b>100,00%</b>	<b>7,20</b>	<b>6,28</b>	<b>7,30</b>	<b>6,16</b>	<b>5,98</b>
Puntuacions	Descripció					
8,6 / 10	molt favorable					
7,1 / 8,5	favorable					
5,1 / 7	admissible					
3,6 / 5	poc favorable					
0 / 3,5	molt desfavorable					

Figura 9. Mètode de les mitjanes ponderades

Després de fer servir el mètode de les mitjanes ponderades, la millor opció és la proposta 2 que és fer servir fustes de fibres, més concretament fusta MDF al ser la que ha estat sotmesa a estudi. Per tant, el primer prototip es farà amb aquest material i s'avaluaran els avantatges i inconvenients del prototip per a determinar si és l'indicat.

### 3.1.2 Accionament i sensat de posició

Després de determinar el material, és necessari seleccionar els components que s'utilitzaran a la maqueta docent. Això ajudarà a determinar les dimensions, cargols i saber si es necessitarà alguna peça extra com per exemple un suport.

#### 3.1.2.1 Motor

El motor escollit, és l'EMAX MT1806 1430 kv. CCW, com es pot veure a la figura 10, el qual és compatible amb hèlixs de 5" o 6". Aquest motor Brushless (que necessita control) dóna l'empenta suficient per impulsar el braç de la maqueta docent. Aquest motor no treballa a màxima potència ja que no es necessari perquè el pes a aixecar es inferior a la seva empenta màxima. Ha estat escollit pensant en que aquesta empenta extra que pot donar pot ser útil de cara a possibles millores dins de la maqueta. A més és un motor amb el que ja he treballat prèviament i conec el seu funcionament. [12]

A la taula 2 podem veure les característiques bàsiques d'aquest motor:

<b>Marca</b>	EMAX
<b>Model</b>	MT1806
<b>Tipus de motor</b>	Brushless
<b>ESC recomanat</b>	12A
<b>Hèlix compatibles</b>	5"-7"
<b>KV</b>	1430
<b>Empenta màxima</b>	240g
<b>Pes</b>	18g
<b>Llargada</b>	26,7mm
<b>Diàmetre</b>	23mm
<b>Diàmetre de l'eix</b>	2mm

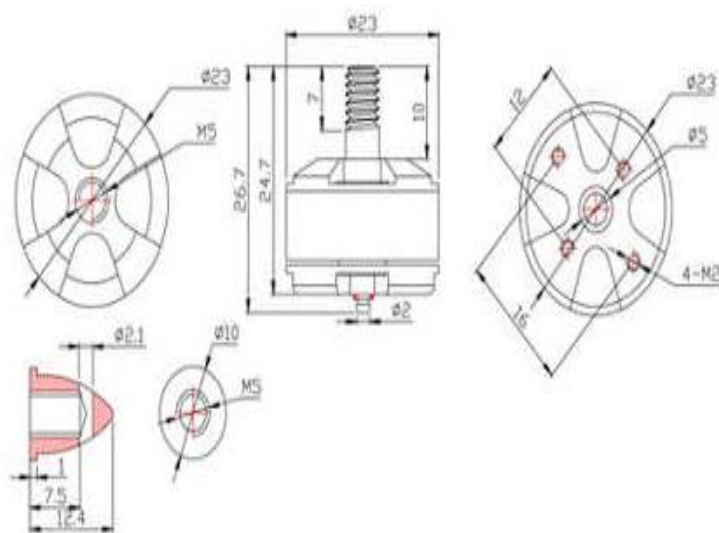
*Taula 2. Característiques motor EMAX MT1806 1430 kv. CCW*

Font: [12]



*Figura 10. Motor EMAX MT1806 1430 kv. CCW*

A la figura 11 es pot veure les dimensions del motor EMAX MT1806 1430 kv. CCW.



*Figura 11. Dimensions motor EMAX MT1806 1430 kv. CCW*

Font: [13]



### 3.1.2.2 Hèlix

A l'hora d'escollir les hèlixs, hem de tenir en compte amb quines mides o tipus d'hèlix és compatible el motor escollit. A més d'això, un altre punt a tenir cura a les dimensions de les hèlixs, és que aquestes vindran donades també per la mida de la maqueta docent. Per posar un exemple, les hèlixs han de tenir una mida que permeti disposar d'un espai de seguretat entre l'extrem del braç i la pròpia hèlix. Un altre aspecte a valorar és el material, aquest pot ser polipropilè, fibra de carboni, policarbonat...etc.

Després d'analitzar l'espai disponible, tenint en compte les dimensions del braç de la maqueta docent, així com la seva estructura i components, s'arriba a la conclusió que les hèlixs han de complir les següents característiques:

- El diàmetre de les hèlix ha de ser igual o inferior a 6".
- El motor és compatible amb les hèlix de 5" o 6".

Finalment, després de provar diferents mides d'hèlixs, s'ha seleccionat l'hèlix HQ Props tripala de 4x4.3", com les que es poden veure a la figura 12. Donat que durant les proves experimentals va ser la que millor va reaccionar, donant la empenta necessària i respectant les dimensions que podia suportar la maqueta docent. Això implica que les mesures de les hèlixs i la maqueta tenen una mida proporcional, la qual no provoca cap mena d'impediment en el moviment, problemes de seguretat, ni tampoc genera un impacte visual, per tenir mides molt descompensades.



*Figura 12. Hèlixs HQ props tripala de 4x4,3*

Encara que a l'anàlisi es va dir que el motor era compatible amb una hèlix de 5" o 6", aquest motor funciona correctament amb l'hèlix de 4x4.3". El fet que no sigui compatible afecta a la eficiència, però no es té en compte, degut a que en aquest treball no s'arriba a la màxima potència.

Les caractéristiques de l'hélix es troben a la taula 3:

<b>Mida</b>	4x4,3
<b>Dimensions de l'eix</b>	5 mm
<b>Material</b>	Policarbonat "irrompible"

*Taula 3. Característiques hèlix HQ props tripala de 4x4.3*

Font: [14]

### 3.1.2.3 ESC

Un ESC és un circuit electrònic que serveix per a controlar la velocitat d'un motor Brushless (aquest tipus de motor necessita control) generant un senyal trifàsic que l'alimenta. La velocitat de gir del motor es varia a partir d'un senyal proporcionat pels pins PWM. En aquest cas, es produeix l'activació a la recepció d'un pols de nivell alt. [15]

Per a conèixer més detalladament com funciona l'ESC, consultar els annexos.

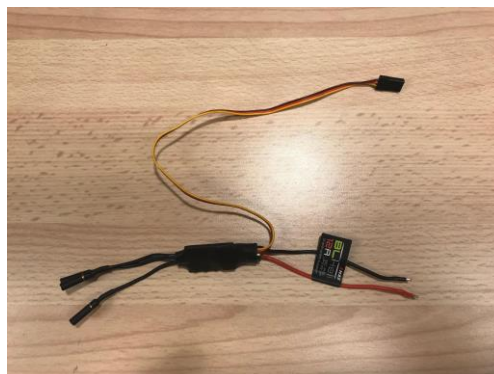
L'ESC seleccionat és un ESC Brushless EMAX BLHeli Series de 12A , com el que es pot veure a la figura 13, suficient per poder alimentar sense problemes els motors escollits.

A la taula 4 podem veure les característiques de l'ESC Brushless EMAX BLHeli Series de 12A.

<b>Marca</b>	EMAX
<b>Model</b>	BLHeli Series
<b>Amperatge continu</b>	12A
<b>Amperatge màxim</b>	15A
<b>BEC</b>	1A/5V
<b>Dimensions</b>	42x20x8mmm
<b>Pes</b>	11g

*Taula 4. Característiques de l'ESC EMAX BLHeli Series*

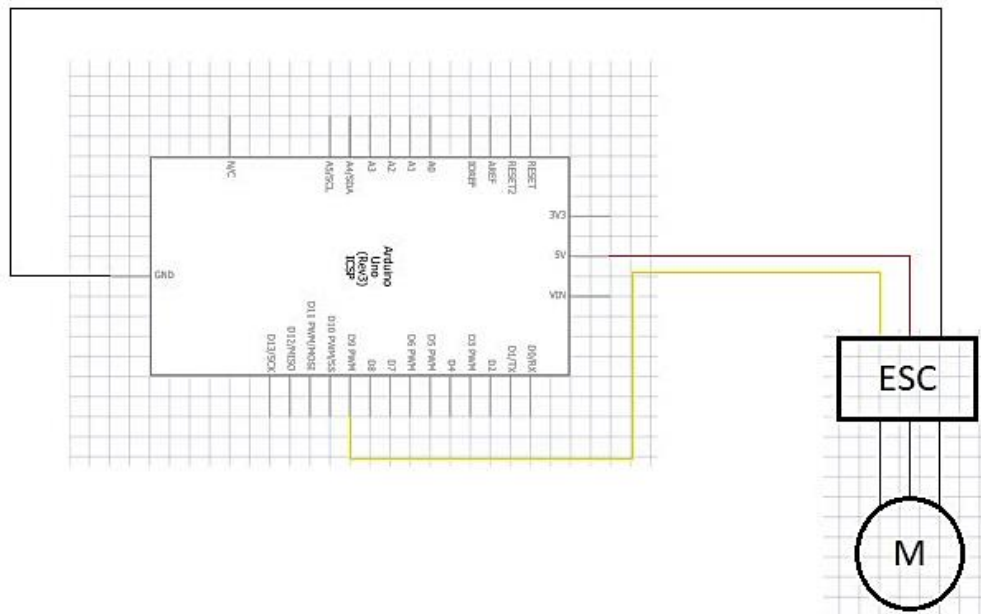
Font: [15]



*Figura 13. ESC EMAX BLHeli Series*

### 3.1.2.3.1 Connexionat d'Arduino UNO i ESC

A la figura 14 es pot veure quines seran les connexions entre l'Arduino UNO i el ESC que controla el motor. Es pot apreciar que s'han de connectar el cable de control de l'ESC de color groc al pin nº 9 del Arduino UNO encara que pel programa es pot modificar el pin on es connecta. A més a més el cable vermell es connecta al pin que subministra 5V de tensió en l'Arduino UNO i el cable marró es connecta al GND "terra" de la Arduino UNO. En aquest cas també cal indicar que l'ESC compta amb dos connexions de color vermell i negre que serveixen per connectar al positiu i negatiu respectivament de la bateria o font d'alimentació, en aquest cas font d'alimentació.



*Figura 14. Connexionat Arduino UNO i ESC*

### 3.1.2.4 Potenciòmetre

És necessari incorporar un potenciòmetre per dos raons:

- És necessita d'un eix per poder rotar el braç de la maqueta docent.
- És necessita incorporar un component que sigui capaç donar la posició angular del braç i aquest component es fàcil de configurar amb Arduino UNO, això es degut a que treballa de forma analògica.

El potenciòmetre seleccionat es troba a la figura 15 i les característiques del mateix estan reflectides a la taula 5. Aquest potenciòmetre ha estat escollit per dues raons principals:

- Parell resistent molt baix
- Altament comercialitzat



Figura 15. Potenciòmetre WDD35-D4

<b>Model</b>	WDD35-D4
<b>Tecnologia</b>	Bobinat
<b>Tipus</b>	Potenciòmetre giratori ajustable superior
<b>Consum d'energia</b>	2W
<b>Valor de resistència</b>	5 K ohm
<b>Tolerància</b>	+/-5%; número de gir; gir únic
<b>Número de terminals</b>	3
<b>Característiques</b>	Eix rodó
<b>Mida del cos</b>	36mm x 20mm
<b>Diàmetre de l'eix</b>	6mm
<b>Longitud de l'eix</b>	18mm
<b>Longitud total</b>	38mm
<b>Color</b>	Plata
<b>Pes</b>	47g

*Taula 5. Característiques potenciòmetre WDD35-D4*

Font: [17]



### 3.1.2.5 Estudi i disseny/selecció del sistema d'alimentació elèctrica

Donat que la maqueta docent està pensada per fer-la servir als laboratoris de l'ESEIAAT, era necessari verificar que les fonts d'alimentació dels laboratoris de l'ESEIAAT, les quals disposen de dos canals ajustables i un de fix, eren prou potents per alimentar la maqueta docent. Una de les fonts es pot veure a la figura 17.

Les característiques per canal d'aquesta font es poden conèixer fixant-se en la taula 6. El corrent que es pot veure a la taula és el corrent màxim que pot subministrar la font per les especificacions, però aquesta realment pot subministrar aproximadament 1,2 A.

<b>Marca</b>	Promax
<b>Model</b>	Power supply
<b>Tipus de Font</b>	FAC-662B
<b>Alimentació</b>	110 – 125 – 220 – 230 – 240V AC
<b>Potència</b>	250W
<b>Corrent</b>	1A
<b>Freqüència</b>	50-60W
<b>Dimensions</b>	230x145x290mm
<b>Pes</b>	9Kg
<b>Sortides Variables</b>	0 – 30V DC
<b>Corrent de sortida</b>	5A

*Taula 6. Característiques promax power supply FAC-662B*

Font: [18]



*Figura 17. Frontal font d'alimentació Promax FAC-662B*



*Figura 18. Planta font d'alimentació Promax FAC-662B*



Després de diverses proves amb la font d'alimentació, es va concloure que es podria fer servir per alimentar la maqueta docent en les següents condicions:

- Els dos canals de la font connectats en paral·lel per donar 2A d'intensitat. Un únic canal donava 1A d'intensitat, el que no era suficient per moure el motor a una velocitat òptima.
- La tensió necessària per moure el motor a una velocitat fluida sense generar cap perill es de 11V.

### 3.1.2.6 Resum de característiques

Una vegada determinat el material, els components, la font d'alimentació i tenint en compte els inconvenients del precedent, es construeix el primer prototip que es pot veure en les figures 19, 20 i 21.



Figura 19. Primer prototip lateral esquerra

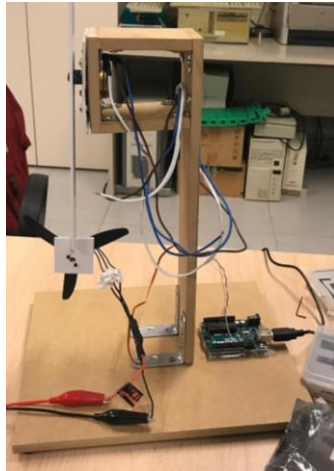


Figura 20. Primer prototip lateral dret

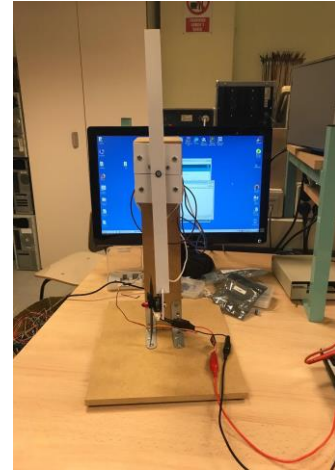


Figura 21. Primer prototip frontal

A la taula 7 podem veure les característiques dimensionals i de material d'aquest prototip:

Primer Prototip	Dimensions (mm)	Material
Base	250x300x10	Fusta MDF
Suport vertical	70x350x10	Fusta MDF
Braç	20x350x3	Plàstic PVC
Base motor	30x30x3	Plàstic PVC
Suport de l'eix	70x80x10	Fusta MDF
Placa auxiliar	70X80x3	Plàstic PVC

Taula 7. Dimensions i materials del primer prototip

El hardware empleat és:

- Motor EMAX MT1806 1430 kv. CCW.
- ESC EMAX BLHeli Series.
- Hèlix HQ Props tripala de 4x4.3.

La font d'alimentació és:

- Font d'alimentació Promax FAC-662B. Canals connectats en paral·lel per donar 2A i tensió a 11 V.

### 3.1.2.6.1 Avaluació

Els inconvenients del primer prototip són:

- Encara que el material dóna estabilitat a la estructura, aquest al no ser tan resistent a la mecanització com una fusta natural, potser no seria el més indicat per a la maqueta docent, es caldrà estudiar unes altres possibilitats.
- El seu acabat no és suficientment bo.
- El volum de la maqueta és massa gran, convindria reduir-la.
- Els cables no estan ben subjectats a l'estructura.
- La placa auxiliar encara que compleix una funció, es podria dir que no és del tot necessària, ja que la seva funció podria ser suprimida al modificar el disseny de l'estructura.
- És necessari incorporar un topall per limitar el moviment del braç en l'eix x.

Tenint en compte aquest inconvenients és necessari fer una versió millorada, solucionant tots aquest problemes.

## 3.2 Segon prototip

Com s'ha indicat a la secció precedent, el primer prototip presenta un seguit d'inconvenients. En aquesta secció veurem com els hem resolt i com això ha resultat en el segon prototip:

- Encara que el material dóna estabilitat a la estructura, aquest al no ser tan resistent a la mecanització com una fusta natural, potser no seria el més indicat per a la maqueta docent, es caldrà estudiar unes altres possibilitats.
- El seu acabat no és suficientment bo.
- El volum de la maqueta és massa gran, convindria reduir-la.
- Els cables no estan ben subjectats a l'estructura.
- La placa auxiliar encara que compleix una funció, es podria dir que no és del tot necessària, ja que la seva funció podria ser suprimida al modificar el disseny de l'estructura.
- És necessari incorporar un topall per limitar el moviment del braç en l'eix x.

En els següents apartats veurem com hem resolt aquest problemes per arribar al segon prototip.

### 3.2.1 Estudi de plàstics

Per solucionar els inconvenients:

- Encara que el material dóna estabilitat a la estructura, aquest al no ser tan resistent a la mecanització com una fusta natural, potser no seria el més indicat per a la maqueta docent, es caldrà estudiar unes altres possibilitats.
- El seu acabat no és suficientment bo.

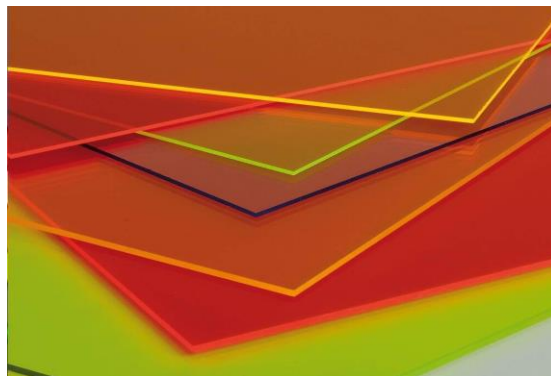
És necessari buscar un nou material més resistent i amb millor acabat. Per això es decideix canviar de material i usar plàstic. En la secció següent es detalla quin plàstic s'ha escollit.

### 3.2.1.1 *Metacrilat*

El metacrilat també conegut com acrílic o plexiglàs és un material molt conegut, versàtil, fàcil de manipular i molt emprat tant a la indústria com en el bricolatge i la decoració.

Unes plaques de metacrilat com les que es troben a la figura 22, s'obtenen per la polimerització del metacrilat de metil. Són un derivat del petroli que es presenta en grànuls o resines líquides. Es tracta d'un material d'alta resistència que es pot tallar a la mida desitjada.

Existeixen diferents tipus de metacrilat disponible, entre ells es diferencien en la seva textura, color i propietats. La seva comercialització està molt estesa per tant, és fàcil trobar-lo en diferents mides. [19]



*Figura 22. Làmines de metacrilat*

Font: [20]

Avantatges:

- Més lleuger
- Més resistent davant dels impactes
- Més transparent
- Es pot treballar fàcilment
- Més segur
- Millor aïllant tèrmic i acústic [19]

Inconvenients:

- Es ratlla fàcilment
- La seva resistència a la mecanització és baixa [19]

### 3.2.1.2 PVC

El PVC com el que s'aprecia a la figura 23, és un plàstic que sorgeix a partir de la polimerització del monòmer de cloroetilè, també conegut com clorur de vinil. Els components del PVC deriven del clorur de sodi i del gas natural o del petroli, inclouen clor, hidrogen i carboni.

En el seu estat original, el PVC és una pols amorfa i blanquinosa. La resina resultant de l'esmentada polimerització és un plàstic que pot emprar-se de múltiples maneres, ja que permet produir objectes flexibles o rígids.

Una de les propietats més interessants del PVC és que resulta termoplàstic: en ser sotmès a la calor, es torna tou i es pot modelar amb facilitat. En refredar, recupera la solidesa anterior sense perdre la nova fisonomia. [21], [22]



*Figura 23. Làmines de PVC*

Font: [23]

Avantatges:

- El PVC ofereix el millor aïllament acústic i tèrmic a causa de la seva naturalesa no conductora.
- La seva vida útil és llarga, arribant als cinquanta anys.
- No necessita manteniment. [21], [22]

Inconvenients:

- El preu pot ser més elevat que altres tipus de plàstics.
- Les seves cantonades son susceptibles als cops i poden arribar a deformar-se. [21], [22]

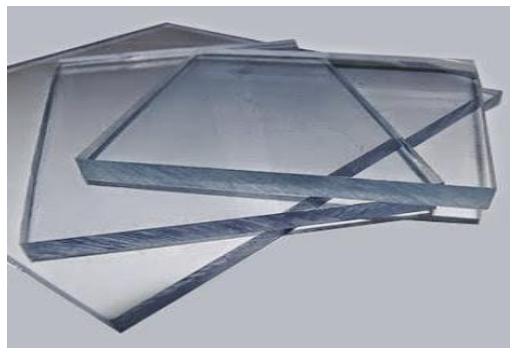
### 3.2.1.3 *Policarbonat*

El Policarbonat com el que es veu a la figura 24, és un termoplàstic que posseeix propietats com la resistència a l'impacte, resistència a la calor i transparència òptica, de manera que el material ha entrat amb gran impacte al mercat gràcies a la varietat de funcions en les que pot ser utilitzat.

En forma de làmina té 3 presentacions comuns:

- Làmina sòlida, de la mateixa forma anomenada monolítica.
- Làmina cel·lular, també famosa com alveolar.
- Làmina acanalada sòlida.

La seva gran resistència a l'impacte i les seves excepcionals propietats òptiques, han fet que aquest termoplàstic guanyi una posició essencial dins el mercat. [24]



*Figura 24. Làmines de policarbonat compacte transparent*

Font: [25]

Avantatges

- La seva resistència a l'impacte és exageradament elevada.
  - Gran transparència.
  - Resistència i rigidesa elevades.
  - Elevada resistència a la deformació tèrmica.
  - Elevada estabilitat dimensional, és a dir, elevada resistència a la fluència.
  - Bones propietats d'aïllament elèctric.
  - Elevada resistència a la intempèrie, amb protecció contra raigs ultraviolats.
- [24]

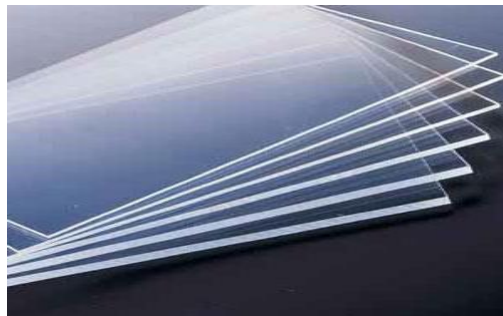


### Inconvenients

- Poc resistent a les substàncies químiques.
- Sensibilitat al entallat i susceptibilitat a esquerdades.
- Compta amb un preu més elevat que la resta de plàstics. [24]

#### 3.2.1.4 PETG plaques

El PETG és una placa de copoliester transparent incolora que combina excel·lents propietats de mecanització i amb bona resistència a l'impacte. Com es pot observar a la figura 25, el producte té bon comportament al foc, i també genera una quantitat baixa de fums en cas de combustió. Encara que es un material un mica desconegut, no hi ha problemes en la seva obtenció donat que és bastant comercialitzat, també hi ha facilitat alhora de treballar-lo per tant, es pot trobar en diferents mesures que no siguin estàndard. [26]



*Figura 25. Plaques de PETG transparent*

Font: [27]

##### Avantatges

- El pre-assecat no és necessari.
- Fàcil d'aconseguir altes definicions amb formes sofisticades.
- Ràpids cicles de temps en el format.
- Bon comportament al foc.
- Bona resistència als agents químics. [26]

##### Inconvenients

- Relativa baixa resistència a l'impacte
- Poca flexibilitat, es talla immediatament sense molta flexió. [26]

### 3.2.1.5 Polipropilè

El Polipropilè, és un polímer termoplàstic utilitzat en una àmplia varietat d'aplicacions incloent l'embalatge, indústria tèxtil, articles de papereria, parts de plàstic i envasos reutilitzables de diversos tipus, equips de laboratori, els altaveus i sobretot components d'automoció, la més recentment a la indústria de la construcció. A més d'un polímer a partir de la monòmer propilè, és resistent i extraordinàriament resistent a molts solvents químics, bases i àcids.

Com es pot apreciar a la figura 26, el polipropilè és un tipus de plàstic que pot ser modelat amb només la calefacció, és a dir, és un termoplàstic. Té propietats similars al polietilè (PE), però amb un punt d'estovament més alt. Entre les seves característiques és destacable pel seu cost baix, la facilitat de mecanització i l'alta resistència química y elèctrica. [28]



Figura 26. Làmines de polipropilè

Font: [29]

#### Avantatges

- És econòmic.
- Utilitzable en la indústria alimentària (és inodor i no tòxic).
- Molt resistent a la fatiga i flexió.
- Alta densitat.
- Químicament inert.
- Esterilitzable i reciclable.
- Excel·lent aïllant elèctric. [28]

#### Inconvenients

- Material fràgil a baixes temperatures
- Sensibilitat als raigs UV [28]

### 3.2.1.6 Selecció dels plàstics

Per l'anàlisi de plàstics, veurem a la taula 8, les característiques més crítiques per l'elaboració de l'estructura. Encara que la toxicitat no és un factor tan clau, sí que pot ser determinant alhora de la seva mecanització, donat que determina la forma de treballar el material i per tant, la quantitat de proveïdors disponibles.

	<b>Preu</b>	<b>Resistència i durabilitat</b>	<b>Toxicitat</b>	<b>Aplicacions</b>
<b>Metacrilat</b>	És econòmic.	Alta resistència.	No	Molt empleat a la indústria del bricolatge i la decoració.
<b>PVC</b>	Preu elevat	Millor aïllament acústic i tèrmic a causa de la seva natura no conductora. Vida útil llarga.	No	Edificació i construcció, electrònica, automòbils, entre altres.
<b>Polycarbonat</b>	Similar al del PETG plaques.	Elevada resistència a la deformació tèrmica i protecció contra raigs ultraviolats.	Poc resistent a les substàncies químiques.	Nombroses aplicacions.
<b>PETG plaques</b>	Preu elevat inferior al polycarbonat	Bona resistència als agents químics. Relativa baixa resistència a l'impacte.	No	Fàcil d'aconseguir altes definicions amb formes sofisticades.
<b>Polipropilè</b>	És econòmic.	Molt resistent a la fatiga i flexió.	Químicament inert.	Utilitzable a la indústria alimentària (és inodor i no tòxic).

*Taula 8. Característiques crítiques dels tipus de plàstics*

Font: [30]

Al contrari de les fustes també és important veure quines son les seves aplicacions, donat que aquestes van lligades a les seves característiques com per exemple, la seva sensibilitat als raigs UV, resistència química, etc.

Per determinar la millor opció, s'utilitzarà el mètode de les mitjanes ponderades:

Mètode de les mitjanes ponderades						
Criteris:	PES	PROPOSTA 0 PVC	PROPOSTA 1 Policarbonat	PROPOSTA 2 De metacrilat	PROPOSTA 3 Polipropiler	PROPOSTA 4 PET-G plaques
<b>ECONOMICS</b>		puntuació	puntuació	puntuació	puntuació	puntuació
Cost materia prima	13%	7	5	7	6	7
Cost mecanització	17%	7	6	7	7	5
<b>Total ponderació</b>	<b>30,00%</b>	<b>2,10</b>	<b>1,67</b>	<b>2,10</b>	<b>1,97</b>	<b>1,76</b>
<b>MEDI AMBIENTALS</b>						
Contaminació en la fabricació	11%	7	7	6	5	4
Capacitat de reutilització/reciclatge	7%	5	6	4	6	7
Consum d'energia en la fabricació	4%	5	6	4	4	5
<b>Total ponderació</b>	<b>22,00%</b>	<b>1,32</b>	<b>1,43</b>	<b>1,10</b>	<b>1,13</b>	<b>1,13</b>
<b>FUNCIONALS</b>						
Facilitat en la mecanització	13%	6	6	7	7	6
Resistència i durabilitat	14%	6	9	5	6	7
Pes	11%	7	7	8	7	7
<b>Total ponderació</b>	<b>38,00%</b>	<b>2,39</b>	<b>2,81</b>	<b>2,49</b>	<b>2,52</b>	<b>2,53</b>
<b>ASPECTES ESTETICS</b>						
Gama de acabats	10%	5	6	7	7	5
<b>Total ponderació</b>	<b>10,00%</b>	<b>0,50</b>	<b>0,60</b>	<b>0,70</b>	<b>0,70</b>	<b>0,50</b>
<b>PUNTUACIÓ PONDERADA</b>	<b>100,00%</b>	<b>6,31</b>	<b>6,51</b>	<b>6,39</b>	<b>6,32</b>	<b>5,92</b>

Puntuacions	Descripció
8,6 / 10	molt favorable
7,1 / 8,5	favorable
5,1 / 7	admissible
3,6 / 5	poc favorable
0 / 3,5	molt desfavorable

Figura 27. Mètode de les mitjanes ponderades

Després de fer servir el mètode de les mitjanes ponderades com es pot veure a la figura 27, obtenim que pel cas dels plàstics, la millor opció és la proposta 1, que seria fer servir plàstic policarbonat. Tot i això, per el segon prototip s'utilitzarà metacrilat perquè és mes econòmic que el policarbonat i comparteixen algunes propietats mecàniques necessàries per a la estructura de la maqueta docent.

### 3.2.2 Dimensions

Per solucionar el inconvenient:

- El volum de la maqueta és massa gran, convindria reduir-la.

Es reduiran les mides de la maqueta a les de la taula 9.

Segon prototip	Dimensions (mm)
Base	250x250x3
Suport vertical	70x300x3
Braç	25x350x3
Base motor	40x100x3
Suport de l'eix	70x60x3
Topall	100x10x10

*Taula 9. Dimensions revisades del segon prototip*

### 3.2.3 Altres inconvenients

Per solucionar els inconvenients:

- Els cables no estan ben subjectats a l'estructura.
- La placa auxiliar encara que compleix una funció, es podria dir que no és del tot necessària, ja que la seva funció podria ser suprimida al modificar el disseny de l'estructura.
- És necessari incorporar un topall per limitar el moviment del braç en l'eix x.

Per tractar l'inconvenient del cablejat, s'ha fet servir una grapa 2x1,5mm BL LEXMAN per subjectar els cables al suport vertical i s'ha fet un forat en el suport vertical que deixar passar els cables per limitar el seu moviment.

La placa auxiliar s'ha eliminat perquè el metacrilat té una resistència a la mecanització prou bona per poder foradar directament sobre el suport de l'eix per fixar el potenciòmetre.

En quant al topall, es va intentar de implementar un topall de metacrilat de 10x2x3mm que anava fixat a la part superior del suport de l'eix amb un adhesiu especial per al metacrilat, però aquest es va trencar en els transport, per tant, és un inconvenient per solucionar en la versió final.

### 3.2.4 Connector banana

Els connectors banana que es poden veure a la figura 28, dels quals es poden veure les característiques a la taula 10, són utilitzats dins de la maqueta docent per servir de nexa entre l'ESC i el motor. Han estat incorporats a l'interior de l'estructura de la maqueta docent per tenir la possibilitat de poder connectar-los i desconectar-los, ja que els fa molt convenients, per exemple, si volguéssim fer servir una hèlix que girés en el sentit contrari però volem continuar fent que el braç de la maqueta vagi en la mateixa direcció, gràcies a aquest connectors podem intercanviar les fases del motor per produir aquest efecte. A més com s'ha esmentat, la implementació és molt fàcil ja que es poden soldar amb estany directament als cables.



*Figura 28. Connectors banana mascle i femella*

<b>Corrent continua</b>	15A
<b>Corrent màxima</b>	30A @ 10s
<b>Cable màxim recomanat</b>	18AWG
<b>Resistència</b>	1.5 mΩ

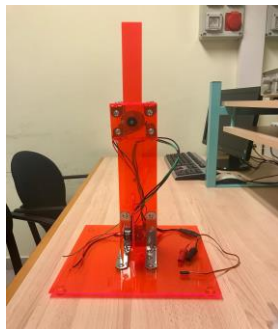
*Taula 10. Característiques connectors banana*

Font: [31]

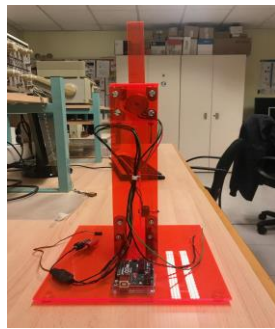


### 3.2.5 Resum de característiques

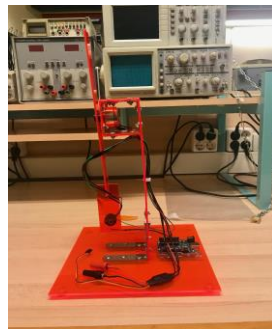
Una vegada determinat el material, els components electrònics, la font d'alimentació i tenint en compte els inconvenients del precedent es construeix el segon prototip que es veu a les figures 29, 30, 31 i 32.



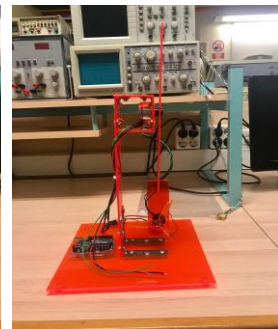
*Figura 29. Segon prototip frontal*



*Figura 30. Segon prototip posterior*



*Figura 31. Segon prototip lateral dret*



*Figura 32. Segon prototip lateral esquerre*

A la taula 11 podem veure les característiques dimensionals i de material d'aquest prototip:

Segon prototip	Dimensions (mm)	Material
Base	250x250x3	Plàstic metacrilat
Suport vertical	70x300x3	Plàstic metacrilat
Braç	25x350x3	Plàstic metacrilat
Base motor	40x100x3	Plàstic metacrilat
Suport de l'eix	70x60x3	Plàstic metacrilat
Topall	100x10x10	Plàstic metacrilat

*Taula 11. Dimensions i materials del segon prototip*

El hardware empleat és:

- Motor EMAX MT1806 1430 kv. CCW.
- ESC EMAX BLHeli Series.
- Hèlix HQ Props tripala de 4x4.3.
- Connectors banana.

La font d'alimentació és:

- Font d'alimentació Promax FAC-662B. Canals connectats en paral·lel per donar 2A i tensió a 11 V.

### 3.2.5.1 *Avaluació*

Inconvenients del segon prototip:

- La resistència a l'impacte no és prou bona, a més, el gruix del material és insuficient, això es pot veure perquè el suport vertical està una mica inclinat pel pes del suport de l'eix i del potenciòmetre.
- Aquest material es ratlla molt fàcilment i amb l'ús continu acabarà en mal estat ràpidament.
- Tots els cables no estan ben subjectats a l'estructura.
- Les dimensions del braç es poden ajustar una mica més perquè és innecessàriament llarga, això provoca que gairebé no hi hagi espai entre el braç i la base de la maqueta docent. Seria convenient ampliar-la, reduint d'aquesta manera la llargària del braç.
- No hi ha una forma prou eficient de connectar la font d'alimentació del laboratori a la maqueta i al ESC.
- El topall no és prou resistent i no hi ha una bona forma de fixar-lo a la estructura de la maqueta.
- El potenciòmetre s'espatlla amb facilitat al passar-lo de voltes, a més no té una vida útil molt llarga, seria convenient substituir-lo per un altre component o material que fes la funció d'eix per al braç de la maqueta.

### 3.3 Versió final

Com s'ha indicat a la secció precedent, el segon prototip encara presenta inconvenients. En aquesta secció veurem com els hem resolt i com això ha resultat en la versió final:

- La resistència a l'impacte no és prou bona, a més, el gruix del material és insuficient, això es pot veure perquè el suport vertical està una mica inclinat pel pes del suport de l'eix i del potenciòmetre.
- Aquest material es ratlla molt fàcilment i amb l'ús continu acabarà en mal estat ràpidament.
- Les dimensions del braç es poden ajustar una mica més perquè és innecessàriament llarga, això provoca que gairebé no hi hagi espai entre el braç i la base de la maqueta docent. Seria convenient ampliar-la, reduint d'aquesta manera la llargària del braç.
- El topall no és prou resistent i no hi ha una bona forma de fixar-lo a la estructura de la maqueta.
- Tots els cables no estan ben subjectats a l'estructura.
- No hi ha una forma prou eficient de connectar la font d'alimentació del laboratori a la maqueta i al ESC.
- El potenciòmetre s'espalla amb facilitat al passar-lo de voltes i no té una vida útil molt llarga. Seria convenient substituir-lo per un altre component o material que fes la funció d'eix per al braç de la maqueta i s'encarregui de llegir la seva posició angular.

En els següents apartats veurem com hem resolt aquest problemes per arribar a la versió final.

### 3.3.1 Material de la versió final.

Per solucionar els inconvenients:

- La resistència a l'impacte no és prou bona, a més, el gruix del material és insuficient, això es pot veure perquè el suport vertical està una mica inclinat pel pes del suport de l'eix i del potenciòmetre.
- Aquest material es ratlla molt fàcilment i amb l'ús continu acabarà en mal estat ràpidament.

S'utilitzarà per la versió final el material que va sortir escollit originalment de l'estudi dels plàstics, el policarbonat. En aquest cas, es farà servir policarbonat compacte transparent, també s'augmentarà el seu gruix a 5mm perquè el suport vertical tingui més estabilitat.

### 3.3.2 Dimensions

Per solucionar el inconvenient:

- Les dimensions del braç es poden ajustar una mica més perquè és innecessàriament llarga, això provoca que gairebé no hi hagi espai entre el braç i la base de la maqueta docent. Seria convenient ampliar-la, reduint d'aquesta manera la llargària del braç.
- El topall no és prou resistent i no hi ha una bona forma de fixar-lo a la estructura de la maqueta.

Es reduiran la mida del braç la maqueta docent i s'incorporarà una placa d'unió zincada com a topall. Les mides del braç i el topall es veuen reflectides en la taula 10. Indicar que la placa d'unió és un producte que és ven fabricat, per tant, aquest no necessita de mecanització, ja que incorpora forats per poder fixar-lo a l'estructura.

Prototip 4	Dimensions (mm)
Braç	25x350x3
Topall	60x16x1

*Taula 12. Dimensions del segon prototip*

### 3.3.3 Altres inconvenients

Per tal de solucionar el inconvenient:

- No hi ha una forma prou eficient de connectar la font d'alimentació del laboratori a la maqueta i al ESC.

Es mantindran les solucions aplicades en el segon prototip:

- Un forat en el suport vertical per deixar passar els cables i limitar el seu moviment.
- Es va fer servir una grapa 2x1,5mm BL LEXMAN per subjectar els cables al suport vertical.

A més d'això, es faran servir dues grapes 2x1,5mm BL LEXMAN, una de elles situada al suport vertical i l'altre al braç de la maqueta docent per acabar de fixar es cables dels components a l'estructura de la maqueta docent.

### 3.3.4 Born de connexió

Els bornes de connexió que es veuen a la figura 33 s'instal·laran a la base de la maqueta docent per solucionar el problema plantejat en el segon prototip:

- No hi ha una forma prou eficient de connectar la font d'alimentació del laboratori a la maqueta i al ESC.

Amb aquest bornes de connexió de tipus banana femella els quals es poden apreciar les característiques a la taula 13, es poden connectar els cables d'alimentació de l'ESC i els cables d'alimentació de la Font del laboratori, d'aquesta manera es pot alimentar la maqueta sense cap complicació.



*Figura 33. Borns de connexió tipus banana femella*

<b>Diàmetre</b>	4mm
<b>Corrent màxima</b>	10 A
<b>Tipus</b>	Banana Femella

*Taula 13. Característiques dels borns de connexió*

Font: [32]

### 3.3.5 Inconvenient del potenciòmetre.

Per tal de solucionar el inconvenient:

- El potenciòmetre s'espalla amb facilitat al passar-lo de voltes i no té una vida útil molt llarga. Seria convenient substituir-lo per un altre component o material que fes la funció d'eix per al braç de la maqueta i s'encarregui de llegir la seva posició angular.

Després de veure quines son les seves funcions el potenciòmetre es reemplaçarà per:

- Un sensor que s'encarregarà de llegir la posició angular.
- Un eix amb forma cilíndrica de policarbonat compacte transparent del qual podem veure les mides a la taula 12.

Versió final	Dimensions (mm)	Material
Eix	108,5x8(ext.)x4(int.)	Plàstic Policarbonat

*Taula 14. Dimensions de l'eix*

#### 3.3.5.1 Sensor

El sensor escollit per mesurar l'angle de gir és la IMU MPU-6050 de la qual es poden veure les seves característiques a la taula 15. Aquest sensor va ser escollit perquè és molt utilitzat, i disposa d'una gran varietat d'informació a la xarxa per a la seva programació. També, perquè té una bona relació qualitat-preu.

Una IMU és un dispositiu que normalment incorpora un acceleròmetre que mesura acceleracions i un giroscopi que mesura velocitats angulars. Existeixen exemplars d'IMU més sofisticades que també incorporen un magnetòmetre i/o un baròmetre.

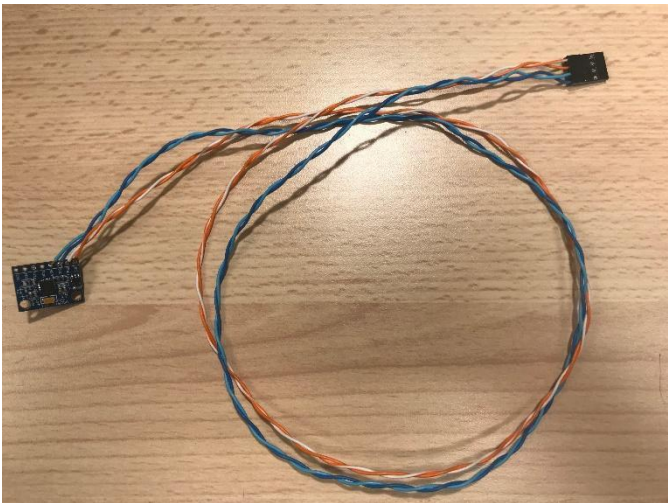
L'IMU MPU-6050 com la que es troba a la figura 34, combina un giroscopi de 3 eixos i un acceleròmetre de 3 eixos al mateix xip de silici, juntament amb un processador digital de moviment (Digital Motion Processor TM) que processa complexos algorismes de 6 eixos. Per tant, l'MPU-6050 és una IMU de 6 graus

de llibertat. Aquest dispositiu pot comunicar-se amb altres dispositius, com ara el microcontrolador, a través d'un bus I2C auxiliar. [33]

<b>Xip</b>	MPU-6050
<b>Breakout board</b>	GY-521
<b>Alimentació</b>	3.3-5V (inclou un regulador intern LDO)
<b>Comunicació</b>	I2C
<b>Fons d'escala del giroscopi programable per l'usuari</b>	$\pm 250$ , $\pm 500$ , $\pm 1000$ i $\pm 2000$ ° / sec (dps)
<b>Fons d'escala de l'acceleròmetre programables per l'usuari</b>	$\pm 2g$ , $\pm 4g$ , $\pm 8g$ y $\pm 16g$
<b>Pins de pas estàndard</b>	2,54mmm
<b>Dimensions</b>	2x1,6x0,1mm
<b>Pes</b>	5g
<b>Convertidor analògic - digital</b>	16 bits
<b>Sensor alternatiu</b>	temperatura

*Taula 15. Característiques del sensor*

Font: [34]



*Figura 34. IMU (MPU-6050)*



### 3.3.5.1.1 Connexionat d'Arduino a IMU (MPU-6050)

En la figura 35 es pot veure quines seran les connexions entre l'Arduino UNO i el IMU (MPU-6050). Com es pot observar, s'han de connectar els cables SCL al pin A5 i SDA al pin A4 de l'Arduino UNO. A més d'això el cable vermell es connecta al pin que subministra 5V de tensió en l'Arduino UNO i el cable marró es connecta al GND "terra" de l'Arduino UNO.

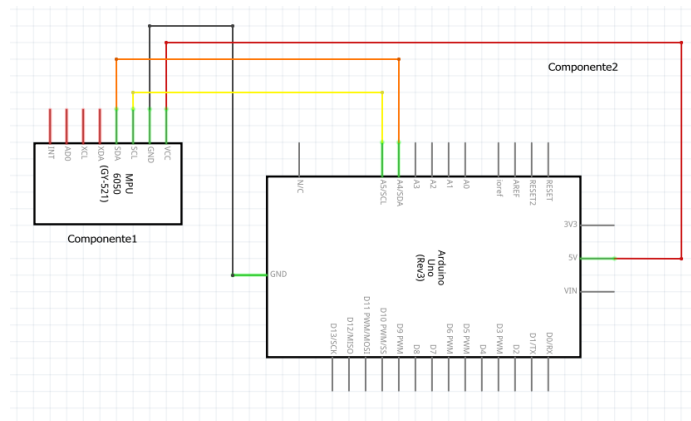


Figura 35. Connexionat d'Arduino UNO i IMU (MPU-6050)

Font: [16]

### 3.3.6 Arduino Proto Extension Kit

Per tal de poder connectar i desconectar els components com l'ESC o la IMU (MPU-6050), s'ha implementat un Arduino proto extension kit com el de la figura 36, que permet soldar els connectors, en aquest cas mascle, per a poder facilitar les connexions. Aquest component estalviarà molt de temps alhora de connectar els pins, donat que és com una extensió de l'Arduino amb una part central, on es poden realitzar aquestes connexions soldades. Els components que conformen el kit es troben a la taula 16.

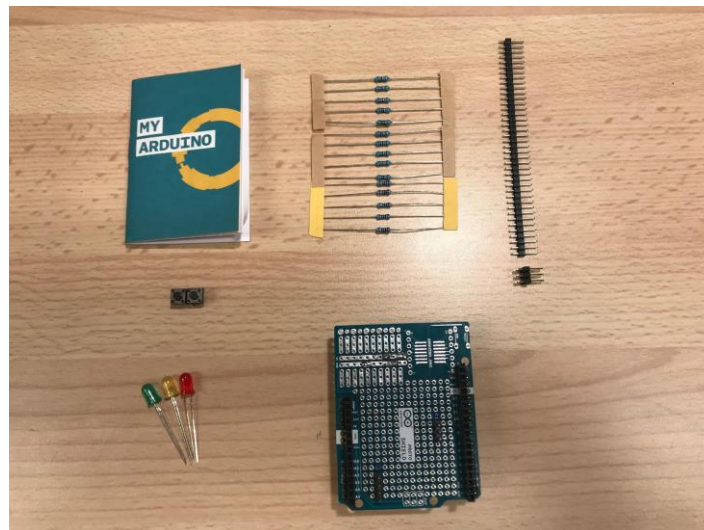


Figura 36. Arduino proto extension kit

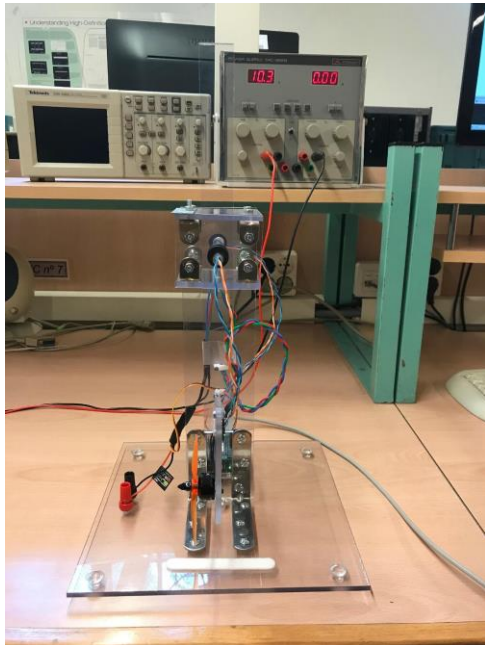
Connector recte de barra de contactes 1 línia (40 x 1)	1
Connector recte de barra de contactes 1 línia (3 x 2)	1
Botons pulsadors per a PCB	2
LED	3 (1 Vermell, 1 Groc, 1 Verd)
Resistències	5 x 10 K $\Omega$
	5 x 220 $\Omega$
	1 x 1 K $\Omega$

Taula 16. Característiques Arduino proto extension kit

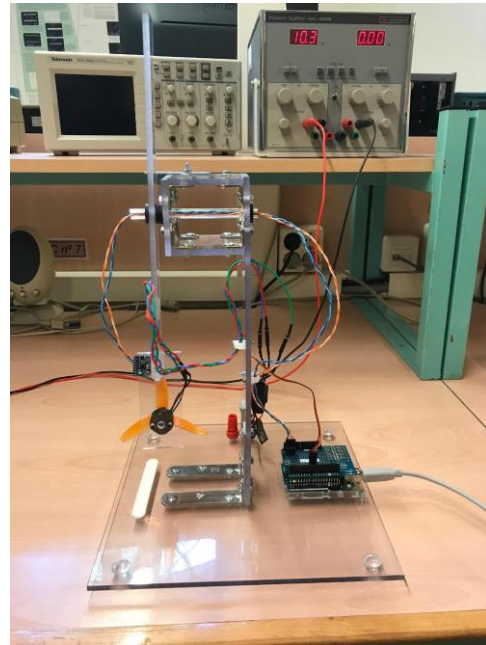
Font: [35]

### 3.3.7 Resum de característiques

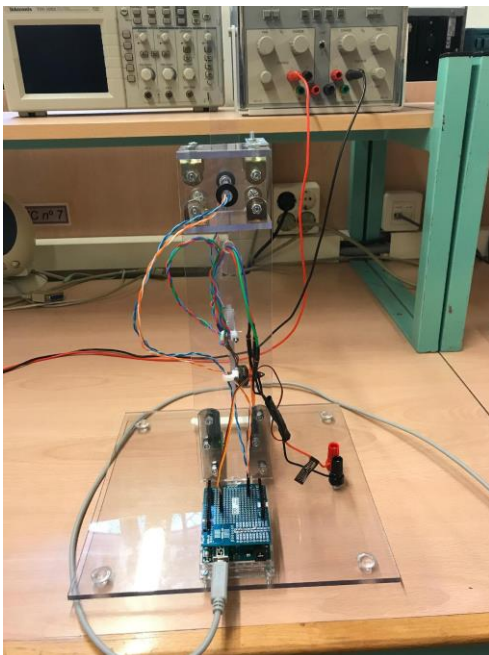
Una vegada determinat el material, els components electrònics, la font d'alimentació i tenint en compte els inconvenients dels precedents es pot fer la versió final com es pot veure des de les figures 37 a la 40. Les característiques bàsiques de la versió final es poden apreciar a la taula 18 i les seves dimensions i materials a la taula 19.



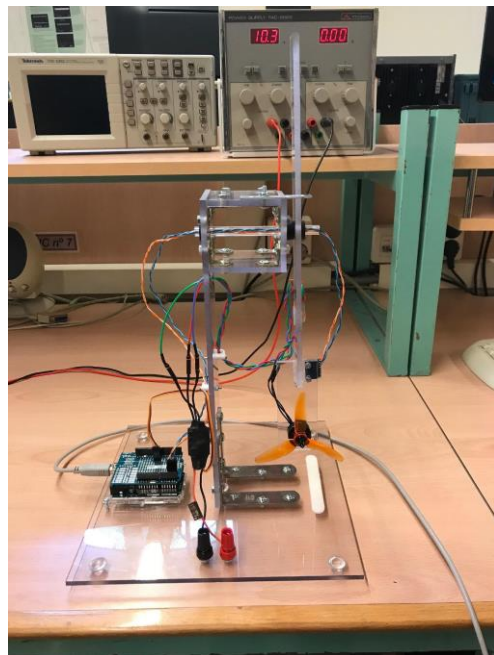
*Figura 37. Versió final maqueta docent frontal*



*Figura 38. Versió final maqueta docent lateral dret*



*Figura 39. Versió final maqueta docent posterior*



*Figura 40. Versió final maqueta docent lateral esquerra*

<b>Llargada</b>	250mm
<b>Amplada</b>	250mm
<b>Alçada Màxima</b>	440mm
<b>Densitat</b>	1183 g/cm <sup>3</sup>
<b>Volum</b>	0.972 cm <sup>3</sup>
<b>Pes</b>	1.150 kg

*Taula 17. Característiques versió final maqueta docent*

<b>Versió final</b>	<b>Dimensions (mm)</b>	<b>Material</b>
<b>Base</b>	250x250x5	Plàstic Policarbonat
<b>Suport vertical</b>	70x300x5	Plàstic Policarbonat
<b>Braç</b>	300x25x5	Plàstic Policarbonat
<b>Base motor</b>	100x40x5	Plàstic Policarbonat
<b>Suport de l'eix</b>	70x60x5	Plàstic Policarbonat
<b>Topall</b>	60x16x1	Plàstic Policarbonat
<b>Eix</b>	108,5x8(ext.)x4(int.)	Plàstic Policarbonat

*Taula 18. Dimensions i materials versió final maqueta docent*

El hardware empleat és:

- Motor EMAX MT1806 1430 kv. CCW.
- ESC EMAX BLHeli Series.
- Hèlix HQ Props tripala de 4x4.3.
- Connector banana
- IMU MPU-6050.
- Borns de connexió bananes femella.
- Arduino proto extension kit.

La font d'alimentació és:

- Font d'alimentació Promax FAC-662B. Canals connectats en paral·lel per donar 2A i tensió a 11 V.

### 3.3.8 Configuració versió final

A la figura 41, podem veure quin és el connexionat final entre tots els components amb l'Arduino UNO.

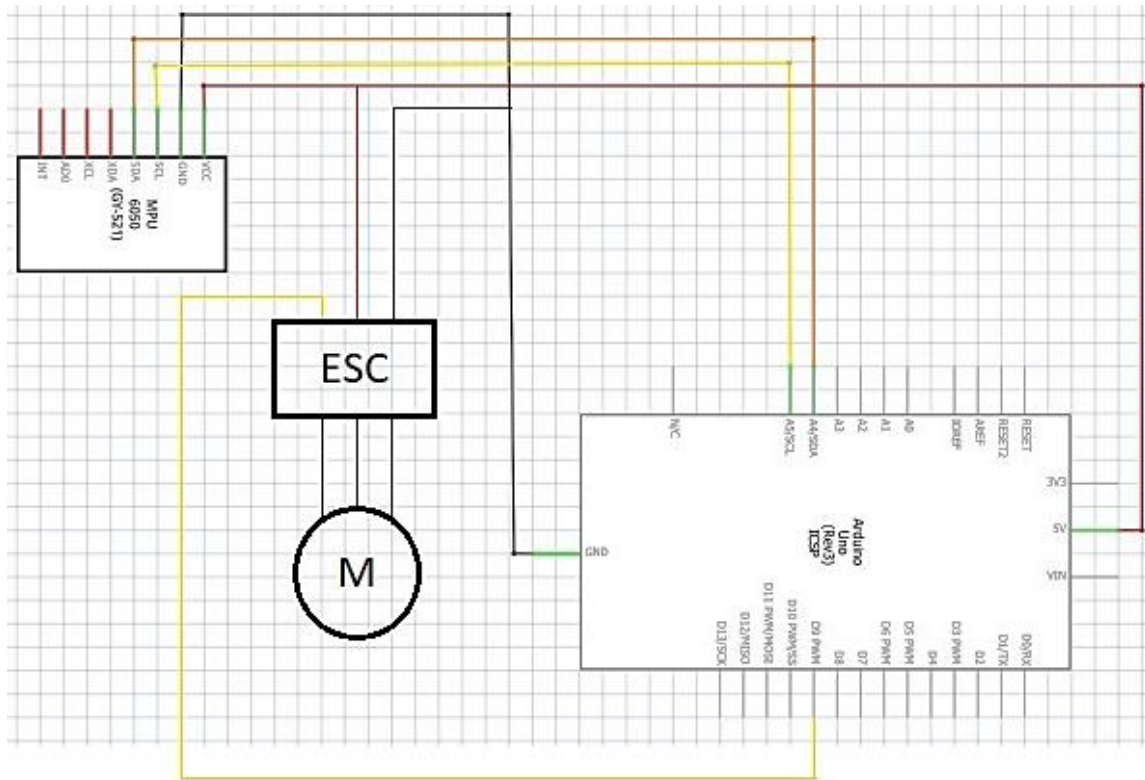


Figura 41. Connexionat Arduino UNO i components

Font: [16]

## 4. Disseny del software

### 4.1 Entorn de programació

Utilitzar Arduino com a microcontrolador implica l'ús de l'IDE d'Arduino pel desenvolupament del software, el qual es pot veure a la figura 42.

Es tracta d'un entorn gratuït que facilita l'escriptura del codi i que permet enviar-lo a la placa. El llenguatge del codi és C++.

L'IDE d'Arduino conté un editor de text per escriure el codi, un àrea de missatges, una consola de text, una barra d'eines amb diverses funcions.



Figura 42. IDE de Arduino

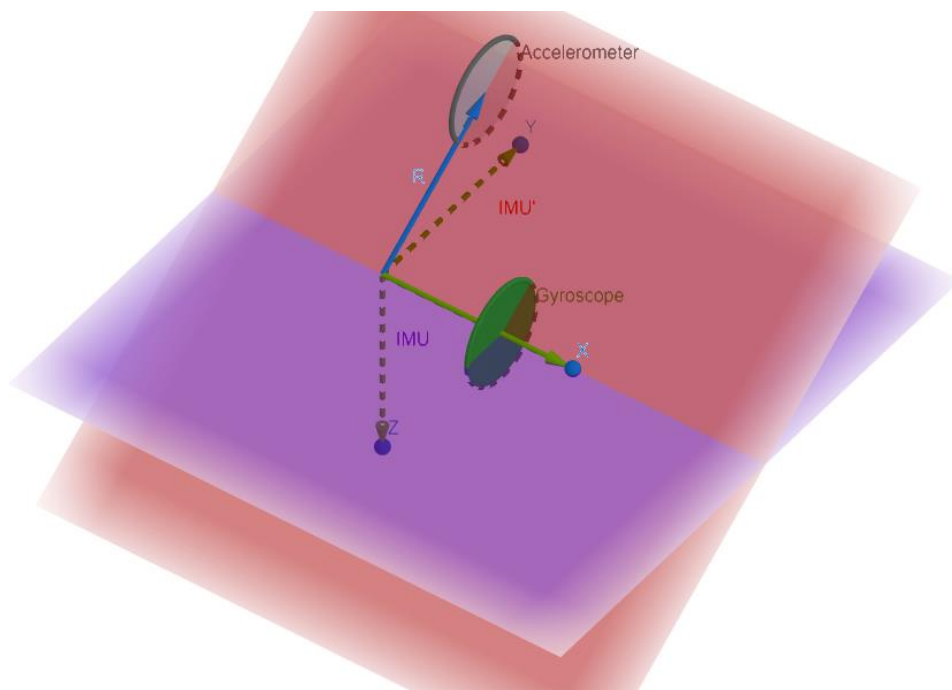
Font: [36]

## 4.2 Creació del software

En la creació del software com s'esmenta abans es fa servir l'IDE d'Arduino i el software es compon de una biblioteca on es veuen integrats 8 mètodes diferents. Per tal d'explicar el software de la forma més òptima possible el dividirem en 9 blocs diferents, un per cada mètode i un bloc a part per una possible aplicació.

Cal remarcar que el codi de programació del sensor està condicionat per la posició dels eixos. Aquest eixos estan determinats per la posició que tingui el sensor en la estructura.

En la figura 43 es pot veure com estan configurats els eixos del sensor en el programari de la maqueta docent:



*Figura 43. Configuració dels eixos de la IMU (MPU-6050)*



#### 4.2.1 Void Maketa::init ()

En aquest mètode el que es fa és inicialitzar totes les variables pel correcte funcionament de la maqueta docent.

#### 4.2.2 Void Maketa::attach (uint8\_t p)

En aquest mètode el que es fa és assignar un pin de l'Arduino UNO pel control de l'ESC, per defecte aquest pin serà el 9. Encara que el pin es pot modificar.

#### 4.2.3 Void Maketa::write (uint8\_t s)

En aquest mètode el que es fa és fixar la velocitat del motor.

#### 4.2.4 Inline uint8\_t Maketa::attached (void)

Aquest mètode, serveix per consultar a quin pin està assignat el control del ESC en l'Arduino UNO.

#### 4.2.5 Inline uint8\_t Maketa::written (void)

Aquest mètode, serveix per consultar quina és la velocitat fixada en el motor.

#### 4.2.6 Void Maketa::gyroscope (float & gyX,float & gyY,float & gyZ)

Aquest mètode, llegeix els valors del giroscopi del sensor. Que serviran per determinar l'angle d'inclinació del braç.

#### 4.2.7 Void Maketa::accelerometer (float & acX,float & acY,float & acZ)

Aquest mètode, llegeix els valors del acceleròmetre del sensor. Que serviran per determinar l'angle d'inclinació del braç.



#### 4.2.8 Uint8\_t accelerometerGyroscope (void);

En aquest mètode es comprova si el sensor està disponible.

#### 4.2.9 Exemple d'aplicació

L'objectiu és aconseguir que la maqueta docent sigui capaç d'anivellar-se ajustant-se a una consigna introduïda per l'usuari. Per tal d'aconseguir-ho s'utilitzarà un control per realimentació anomenat control PID que permet controlar la posició angular.

Les tres parts principal d'un control PID són:

- Part Proporcional (P): La senyal de control és proporcional a l'error entre l'angle consigna i l'angle real en aquell instant. Aquesta part ajuda al braç de la maqueta docent a arribar a l'angle consigna, però és la que ocasiona una major inestabilitat.
- Part Integral (I): La senyal de control és proporcional a l'àrea sota la corba de l'error en el temps. Aquesta part ajuda a suavitzar l'efecte de la part proporcional en el règim permanent, proporciona una major estabilitat que permet combatre pertorbacions com les mencionades anteriorment.
- Part Derivativa (D): Aquesta part depèn de la derivada de l'error respecte del temps, es pronuncia quan hi ha un canvi en el valor absolut de l'error. Aquesta part ajuda perquè augmenta l'estabilitat del sistema a controlar, però disminueix la velocitat del sistema i l'error en règim permanent romandrà igual.

Com es una maqueta no comercialitzada, no es coneixen els valors de les constants  $K_p$ ,  $K_i$  i  $K_d$  (guany proporcional, integral i derivatiu respectivament). La millor manera de determinar-ne els valors és experimentalment, tenint en compte que:

- Un augment del guany proporcional ( $K_p$ ) fa arribar el braç de la maqueta docent més ràpidament a l'angle consigna, però com ja s'ha mencionat, pot ocasionar un major sobre impuls que n'augmenti la inestabilitat.
- Augmentar el valor del guany integral ( $K_i$ ) suavitzarà l'efecte de la part proporcional, aconseguint una major estabilitat.
- En aquest cas  $K_d$  no aportava res al control, de fet, l'empitjorava; per tant, el seu valor romandrà com 0.

En les figures 45 i 46 es poden veure els diagrames de blocs que corresponen a la programació d'un control PID i la seva estructura de control d'un motor respectivament.

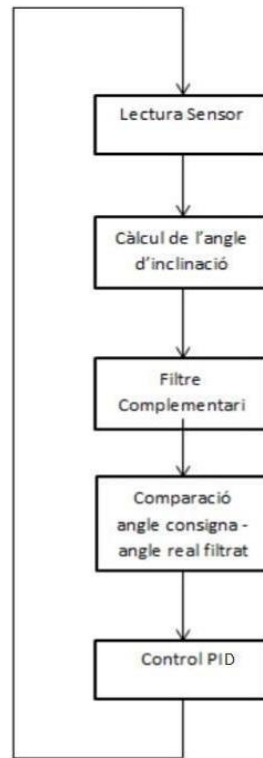


Figura 44. Diagrama de blocs del PID

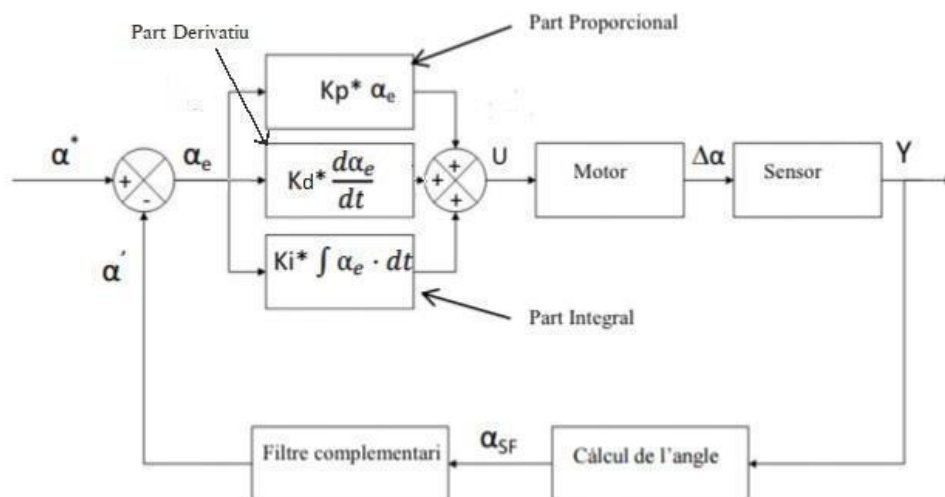


Figura 45. Diagrama de blocs del funcionament del PID

Cal dir que l'aplicació ha donat bons resultats en les proves experimentals i per tant, es pot afirmar que el control del braç de la maqueta docent, és possible.

A la taula 19 disposem del codi de l'aplicació.

```
#if TEST_NUMBER == 3
#include <Maketa.h>
#include <TimerOne.h>

/* Set Timer 1 period to 25 ms. */
#define T 25000
#define Tsec (T * 1.0E-6)
/* Number of degrees for 1 radiant. */
#define RAD2DEG 57.297f
#define NGY_OFFSET 10
#define FUSION_GYCOEFF 0.8f
#define FUSION_ACCOEFF 0.2f
#define MIN_ANGLE -4.41
#define MAX_ANGLE 118.4
#define MAX_SPEED 40
#define KP 0.1
#define KI 0.15
#define KD 0.0

Maketa m;

volatile bool readIMU;

float acX;
float acY;
float acZ;
float gyX;
float gyY;
float gyZ;
float gyXoffset;
float angle;
float inclination;
float setpoint = 0;
float old_error;
float error;
float error_sum;
float derivative;
float Speed;

void ISR_T1 (void)
{
    readIMU = true;
```

```

}

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  m.init ();
  m.attach (9);
  gyXoffset = 0.0;
  for (int i = 0; i < NGY_OFFSET; ++i)
  {
    m.gyroscope (gyX, gyY, gyZ);
    gyXoffset += gyX;
  }
  gyXoffset /= NGY_OFFSET;
  m.accelerometer (acX, acY, acZ);
  acZ = -acZ;
  angle = atan2 (acZ, acY) * RAD2DEG;
  inclination = map(angle, MIN_ANGLE, MAX_ANGLE, 0, 100);

  error_sum = error;
  derivative = 0;
  Speed = KP * error + KI * (error_sum * (T * 1E-6))
          + KD * derivative;
  if (setpoint < 0.1 || Speed < 0) Speed = 0;
  else if (Speed > MAX_SPEED) Speed = MAX_SPEED;
  Timer1.initialize (T);
  Timer1.attachInterrupt (ISR_T1);
  readIMU = false;
}

void loop() {
  if (readIMU)
  {
    readIMU = false;
    m.accelerometer (acX, acY, acZ);
    acZ = -acZ;
    m.gyroscope (gyX, gyY, gyZ);
    angle = FUSION_GYCOEFF * (angle + (gyX - gyXoffset) * Tsec)
            + FUSION_ACCOEFF * (atan2 (acZ, acY) * RAD2DEG) ;
    inclination = map(angle, MIN_ANGLE, MAX_ANGLE, 0, 100);
    old_error = error;
    if (setpoint < 0.1) error = 0;
    else error = setpoint - inclination;
    error_sum += error;
    derivative = (error - old_error) / (T * 1E-6);
    Speed = KP * error + KI * (error_sum * (T * 1E-6))
            + KD * derivative;
  }
}

```

```

    if (setpoint < 0.1 || Speed < 0) Speed = 0;
    else if (Speed > MAX_SPEED) Speed = MAX_SPEED;
    m.write (Speed);
}
#if 0
    Serial.print ("setpoint = "); Serial.print (setpoint);
    Serial.print ("; inclination = "); Serial.print (inclination);
    Serial.print ("; speed = "); Serial.println (Speed);
#endif
    if (Serial.available () > 0)
    {
        float setpointInput;
        setpointInput = Serial.parseFloat ();
        if (setpointInput > 0.0)
        {
            setpoint = setpointInput;
        }
    }
    Serial.println (setpoint);
}

#endif

```

*Taula 19. Codi de l'aplicació d'exemple*

## 5.Aspectes ambientals i de seguretat.

Encara que sigui un projecte només per l'ESEIAAT, s'han tingut en compte algunes consideracions per tal de reduir l'impacte mediambiental en la fabricació, durant l'ús i després d'acabar la seva vida útil.

### 5.1 Etapa de mecanització de la maqueta docent.

Per tal de reduir al màxim l'impacte mediambiental, alhora de mecanitzar la versió final, tots els talls, forats i llimadures s'han fet a mà encara que sigui més lent i els acabats una mica pitjors, perquè el policarbonat compacte transparent, al ser tallat amb el làser provoca un gas o pols nocius, pel medi ambient, els operaris i màquines.

### 5.2 Etapa d'ús de la maqueta docent

En aquesta etapa, el principal impacte negatiu per al medi ambient és degut al consum de l'electricitat que obté de la font d'alimentació que està connectada a la xarxa elèctrica.

### 5.3 Etapa de desmantellament de la maqueta docent

En aquesta etapa, el policarbonat és un plàstic que es pot reciclar. Existeixen tecnologies per al reciclatge mecànic i químic. Després de passar per aquest reciclatge s'obté del material resultant el policarbonat reciclat que segueix comptant amb una gran resistència al impacte i a la temperatura.

## 6. Conclusions

### 6.1 Conclusions finals

La finalitat del present projecte era estudiar la viabilitat d'una maqueta docent. És pot assegurar després de la elaboració de la versió final de la maqueta docent que es viable perquè es compleixen les següents especificacions plantejades al inici del projecte.

- La maqueta està constituïda per una base, un suport vertical fixat a la base i un braç que gira al voltant d'un eix fixat al suport.
- El gir del braç s'aconsegueix mitjançant una hèlix accionada mitjançant un motor trifàsic. El motor emprat és l'EMAX MT1806 1430 kv. CCW aquest es controla amb un ESC EMAX BLHeli Series. La hèlix emprada és la hèlix HQ Props tripala de 4x4.3.
- L'angle de gir pot variar entre 0 graus (braç vertical) i 135 graus. Esta limitat pel topall.
- Les dimensions de la maqueta s'adeqüen per la seva utilització a un laboratori docent.
- La maqueta es presenta en forma de «kit» constituït per un seguit de peces que poden manufacturar-se i assemblar-se fàcilment.
- La maqueta compta amb un sensor que proporciona la inclinació del braç. El sensor emprat és una IMU (MPU-6050).
- La velocitat de rotació del motor i, per tant, l'angle d'inclinació del braç, es governa amb un microcontrolador Arduino UNO.
- Es crea una biblioteca de programes per Arduino UNO que faciliten l'ús docent de la maqueta. Aquesta biblioteca conte els mètodes necessaris per a aquest fi.
- La maqueta docent s'ha de poder alimentar amb una de les fonts disponibles als laboratoris de l'ESEIAAT.

En quant al pressupost especificat a l'inici del projecte:

- El pressupost per l'elaboració de la maqueta final ha de ser igual o inferior a 80€.

Encara que s'ha superat el pressupost plantejat, ha estat per millorar les propietats mecàniques de l'estructura i per afegir elements que augmenten la comoditat d'ús per l'usuari. Per tant, aquesta inversió extra en el projecte permetrà tenir un producte de qualitat, durabilitat i útil pels laboratoris de l'ESEIAAT.



## 6.2 Conclusions d'aprenentatge

En l'elaboració de la maqueta docent he pogut adquirir una sèrie de coneixements :

En el procés de selecció de materials de cara al disseny de l'estructura, he pogut extreure partit als coneixements adquirits en l'assignatura de metodologia de projectes, perquè amb les taules d'anàlisi i selecció de mitjanes ponderades he pogut fer una selecció acurada dels materials a utilitzar per l'elaboració de la maqueta docent. A més a més, aquests mètodes de selecció han sigut d'utilitat alhora d'escollir l'electrònica i la instrumentació per la maqueta docent (microcontrolador, sensor, motor i els seus components adjunts) és a dir, la part del hardware. Cal remarcar que degut al ampli mercat l'obtenció dels materials per la construcció de la maqueta docent no ha suposat cap problema.

Per una altra banda alhora de interconnectar tots els components que integren la maqueta docent he pogut aprendre a fer una valoració de quins són els components de connexió més adient, a més de millorar alhora de soldar components amb cables o connectors. També cal dir que en el moment de fer la maqueta totalment desmuntable vaig haver de canviar el disseny diverses vegades per tal d'aconseguir aquest objectiu. Per tant, he hagut de fer diverses modificacions als plànols i objectes tridimensionals al llarg del temps, això m'ha permès polir les meves habilitats amb softwares de disseny tridimensional, en aquest cas, Solidworks i Catia V5.

Per acabar, durant la realització del programari del projecte s'han ampliat molt els meus coneixements sobre la programació C/C++ i també d'adquirir un munt de coneixements nous, especialment el que fa a la creació de llibreries, que gràcies a l'ajuda del meu codirector del projecte he pogut aprendre com fer-ho correctament i arreglar els possibles problemes al integrar les diferents funcions que s'encarreguen de les tasques de control. També he pogut posar en pràctica els meus coneixements sobre el funcionament d'un control a PID. He pogut aprendre com es realitza el control d'un motor Brushless i ESC mitjançant Arduino, perquè encara que tenia experiència prèvia amb aquest hardware, per la construcció de drons, desconeixia com seria el control amb Arduino. A més d'això, dir que al implementar una de les possibles aplicacions, en aquest cas un PID, he pogut posar en pràctica els coneixements adquirits durant el grau en matèria de control de posició. Sense dubte aquest coneixements seran d'utilitat en el futur.

## 6.3 Recomanacions futures

### 6.3.1 Tasques recomanades

L'elaboració de la maqueta docent ha donat resultats satisfactoris, tot i així, hi ha aspectes que es poden acabar de millorar:

- Disminuir el cost de la maqueta docent:
  - Es podria fer una recerca més àmplia dels materials per intentar trobar un més econòmic amb unes propietats mecàniques similars al policarbonat.
  - Es podria fer un híbrid que tingui dos tipus de material. A la part estructuralment més important, la base i suport vertical es podria fer servir policarbonat i les parts menys importants un altre material més econòmic.
  - Trobar alternatives que facilitin el connexionat dels cables, però amb un preu més econòmic. Es podria substituir el proto extension kit, per un de marca blanca o bé fabricar-lo.
- Incorporar com a mesura de seguretat, un protector que impedeixi als estudiants tocar encara que sigui per accident l'hèlix mentre aquesta estigui girant:
  - Es pot intentar cercar una corona per hèlix ja fabricada, agafant les mides de la hèlix escollida com a referència.
  - Es podria fabricar fent servir per exemple, Solidworks creant el 3D i passant-lo a format STL per imprimir-lo en una impressora 3D.

A la taula 20 es pot veure el temps estimat per la realització de les tasques futures.

Tasca	Temps estimat (h)
Disminuir el cost de la maqueta docent	30
Disseny de la corona de l'hèlix	20
<b>Total</b>	<b>50</b>

*Taula 20. Temps estimat per a la realització de les tasques futures*

## 7. Referències bibliogràfiques

- [1] "AGLOMERADOS | Maderasmendi." [Online]. Available: <https://maderasmendi.com/producto/aglomerados/>. [Accessed: 04-Feb-2019].
- [2] "Ventajas e inconvenientes de las encimeras aglomeradas | Maderame." [Online]. Available: <https://maderame.com/encimeras-aglomeradas/>. [Accessed: 12-Feb-2019].
- [3] "Ventajas y desventajas de la madera contrachapada | Estilo Rior." [Online]. Available: <https://www.estilorior.com/ventajas-y-desventajas-de-la-madera-contrachapada>. [Accessed: 13-Feb-2019].
- [4] "Tableros contrachapados de madera para la construcción | Publicaciones Digitales Técnicas." [Online]. Available: <http://publiditec.com/blog/tableros-contrachapados-madera-para-la-construccion/>. [Accessed: 13-Feb-2019].
- [5] "Masisa MDF: Conoce nuestras maderas, melaminas y tableros | Masisa Chile." [Online]. Available: <https://www.masisa.com/chi/producto/mdf/>. [Accessed: 15-Feb-2019].
- [6] "Ventajas y desventajas de los muebles de MDF - CDT." [Online]. Available: <https://construcciondetendencias.com/ventajas-desventajas-los-muebles-mdf/>. [Accessed: 17-Feb-2019].
- [7] "Tableros de madera; tipos, características y usos | Maderea." [Online]. Available: <https://www.maderea.es/tableros-de-madera-tipos-caracteristicas-y-usos/>. [Accessed: 18-Feb-2019].
- [8] "Tableros OSB: características y usos." [Online]. Available: <https://www.decoora.com/tableros-osb-caracteristicas-y-usos/>. [Accessed: 19-Feb-2019].
- [9] "Madera maciza vs madera laminada | Maderea." [Online]. Available: <https://www.maderea.es/madera-maciza-y-madera-laminada/>. [Accessed: 20-Feb-2019].
- [10] "Fusta massissa / Fusta / BRUMAT VIDRE I FUSTA. Transformació i distribució." [Online]. Available: <https://www.brumat.es/vidre-i-fusta/fusta-massissa.php>. [Accessed: 20-Feb-2019].
- [11] "AITIM - Especies de madera." [Online]. Available: <https://infomadera.net/modulos/maderas.php>. [Accessed: 26-Feb-2019].
- [12] "EMAX MT1806-1430kv CCW- Accesorios incluidos." [Online]. Available: <https://rc-innovations.es/MT1806-1430kv-CCW?search=EMAX MT1806&description=true>. [Accessed: 02-Mar-2019].
- [13] "EMAX Multicopter motor MT1806 - Emaxmodel.com-R/C Store." [Online]. Available: <https://emaxmodel.com/emax-multicopter-motor-mt1806.html>. [Accessed: 05-Mar-2019].
- [14] "Hélices Tri-pala HQ Resistentes 4X4.3x3V1S - Naranja Claro - 2 Parejas." [Online]. Available: <https://rc-innovations.es/helices-hq-resistentes-4x4.3x3v1s-naranja-claro-2-parejas-dp4x4.3x3v1slo-pc-drones-fpv>. [Accessed: 09-Jun-2019].
- [15] "Emax BLHeli 12A ESCs para drones -RC Innovations." [Online]. Available: <https://rc-innovations.es/emax-blheli-12a-escs-para-drones>.

- innovations.es/Emax-variadores-ESC-12A-firmware-BLHeli-multicopteros?search=ESC  
emax&description=true. [Accessed: 07-Mar-2019].
- [16] "Fritzing Fritzing." [Online]. Available: <http://fritzing.org/home/>. [Accessed: 09-Mar-2019].
- [17] "5 K Ohm Wda-d35-d4c Wdd35d4 Potenciómetro Giratorio - Buy Potenciómetro Giratorio,Sensor De Desplazamiento Angular,Giratorio 5 K Giratorio Product on Alibaba.com." [Online]. Available: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/5k-ohm-wda-d35-d4c-wdd35d4-rotary-potentiometer-60041584329.html>. [Accessed: 14-Mar-2019].
- [18] "Promax FA-662B." .
- [19] "Metacrilatos - Macoglass." [Online]. Available: <https://www.macoglass.com/metacrilatos/>. [Accessed: 25-Mar-2019].
- [20] "Metacrilato Fluorescente, fabricación a medida - Plastic Express."
- [21] "Ventanas de PVC: ventajas y desventajas | Seviaup." [Online]. Available: <https://seviaup.com/ventanas-pvc-ventajas-desventajas/>. [Accessed: 01-Apr-2019].
- [22] "Las ventanas de PVC · Vivienda Saludable." [Online]. Available: <https://www.viviendasaludable.es/reformas-bricolaje/cerramientos/ventanas-de-pvc-pros-y-contras>. [Accessed: 01-Apr-2019].
- [23] "Pure Plastics Online Store: Foam PVC White 10mm, Foam PVC Sheet, pvcfoamwhite10." [Online]. Available: <http://www.pure-plastics.co.uk/proddetail.php?prod=pvcfoamwhite10>. [Accessed: 01-Apr-2019].
- [24] "Policarbonato transparente, ventajas y desventajas | Metacrilatos." [Online]. Available: <https://www.metacrilatos.net/2015/04/policarbonato-transparente-ventajas-y.html>. [Accessed: 09-Jun-2019].
- [25] "Policarbonato transparente solido | Grupo Dimsa Jiré." [Online]. Available: <https://acrilicodismajire.com.mx/productos/policarbonato/policarbonato-solido/policarbonato-transparente-solido/>. [Accessed: 01-Apr-2019].
- [26] "PETG en placas." [Online]. Available: <https://www.polimertecnic.com/petg-en-placas/>. [Accessed: 02-Apr-2019].
- [27] "Placa PETG 2050x1250x1,5 mm incolora." [Online]. Available: <https://www.cleverspain.es/Placa-PETG-2050x1250x1-mm-incolora-1-5>. [Accessed: 02-Apr-2019].
- [28] "Polipropileno usos y características." [Online]. Available: <http://canalconstruccion.com/polipropileno-usos-y-caracteristicas.html>. [Accessed: 05-Apr-2019].
- [29] "¿Qué propiedades tiene el polipropileno y para qué se utiliza? - Curiosoando." [Online]. Available: <https://curiosoando.com/que-propiedades-tiene-el-polipropileno-y-para-que-se-utiliza>. [Accessed: 05-Apr-2019].
- [30] "Comparativa Precios Plasticos." [Online]. Available: [http://www.plasticos-mecanizables.com/plasticos\\_precios\\_kg.html](http://www.plasticos-mecanizables.com/plasticos_precios_kg.html). [Accessed: 07-Apr-2019].
- [31] "Conectores banana bullet de oro de 2mm. macho y hembra." [Online]. Available: <https://www.rctecnic.com/cables-conectores/conector-de-oro-de-2mm-macho>

- hembra. [Accessed: 07-Apr-2019].
- [32] "BORNE AISLADO ROJO 4MM 30A BPB." [Online]. Available: [https://diotronic.com/borne-aislado-rojo-4mm-30a-bpb\\_1246/](https://diotronic.com/borne-aislado-rojo-4mm-30a-bpb_1246/). [Accessed: 09-Apr-2019].
- [33] "Tutorial MPU6050, Acelerómetro y Giroscopio." [Online]. Available: [https://naylampmechatronics.com/blog/45\\_Tutorial-MPU6050-Acelerómetro-y-Giroscopio.html](https://naylampmechatronics.com/blog/45_Tutorial-MPU6050-Acelerómetro-y-Giroscopio.html). [Accessed: 16-Apr-2019].
- [34] "MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification Revision 3.4 MPU-6000/MPU-6050 Product Specification." 2013.
- [35] "ARDUINO PROTO EXTENSION KIT." [Online]. Available: [https://diotronic.com/arduino-proto-extension-kit\\_32180/](https://diotronic.com/arduino-proto-extension-kit_32180/). [Accessed: 20-Apr-2019].
- [36] "Arduino - Software." [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>. [Accessed: 01-Apr-2019].